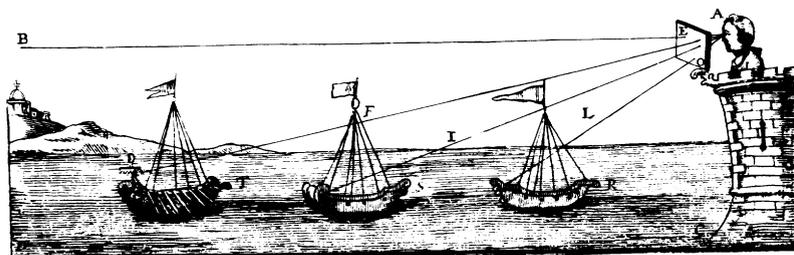


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



LAS IMÁGENES SOBRE ENLACE QUÍMICO USADAS EN LOS LIBROS DE TEXTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA. ANÁLISIS DESDE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

MATUS LEITES, LILIANA¹; BENARROCH BENARROCH, ALICIA² y PERALES PALACIOS, FRANCISCO JAVIER³

¹ Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. Argentina

² Facultad de Educación y Humanidades de Melilla. Universidad de Granada. España

³ Facultad de Ciencias de la Educación de Granada. Universidad de Granada. España

matusliliana@yahoo.com.ar

aliciabb@ugr.es

fperales@ugr.es

Resumen. En este artículo se analizan las imágenes o ilustraciones contenidas en libros de texto en relación con el enlace químico. El objetivo ha sido desvelar si estas imágenes se adecuan a los fundamentos teóricos hallados en la bibliografía sobre el tema. Se han analizado 12 libros de texto pertenecientes a los niveles argentinos de EGB 3 (12-14 años) y Polimodal (15-17 años). Esto ha supuesto un total de 16 imágenes de EGB 3 y de 62 imágenes de Polimodal. Los resultados, a pesar de ser muy heterogéneos, muestran una relación escasa texto-imagen, y un predominio del tipo de texto expositivo. Además, en EGB 3, el 70% de las imágenes son modelos de bajo nivel (sin configuración electrónica), frente al 30% que son de alto nivel, mientras que en Polimodal ocurre prácticamente lo contrario.

Palabras clave. Imágenes, ilustraciones, libros de texto, enlace químico.

Analysis of Chemical Bond Images Used in High School Textbooks Based on the Results of Educational Research

Summary. In this article, the images or illustrations contained in textbooks related to chemical bonds are analyzed. The objective was to reveal whether or not these images are adapted to the previous theoretic outcomes. 12 Argentina junior high school (12-14 years old) and senior high school (15-17 years old) textbooks were analyzed. A total of 16 junior high school images and 62 senior high school images were studied. Despite the fact that they are very heterogeneous, the results show a very scarce text-image relationship, and a prevalence for expositive types of text. In addition, in junior high school, 70% of the images are low level models (without electronical configuration), as opposed to the 30% that are high level; whereas in senior high school, practically the opposite occurs.

Keywords. Images, illustrations, textbooks, chemical bond.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la imagen domina la cultura y constituye un medio de expresión por el cual recibimos innumerables informaciones y a través del que podemos expresarnos (Pro, 2003). También las imágenes –representaciones externas visuales– poseen un creciente protagonismo en los materiales didácticos que se proponen y utilizan en la enseñanza de las ciencias (Fanaro et al., 2005; Lowe, 2000, citado en Guevara y Valdez, 2004). De esta manera, los estudiantes de hoy viven inmersos en una cultura de la información plena de representaciones de carácter pictórico, tanto en sus hábitos cotidianos como en el propio ámbito educativo.

Pensamos, con Perales y Jiménez (2004), que la intensificación de las representaciones visuales en los libros de texto podría responder a diversas razones, entre las cuales se pueden mencionar aquellas vinculadas al *marketing* editorial, al lenguaje visual como requisito comunicativo de la sociedad actual y a las nuevas técnicas de diseño gráfico, entre otras.

Además de las razones anteriores, existen creencias en las ventajas del uso de los recursos visuales que integrarían el «imaginario pedagógico» (Otero et al., 2003). Así es que, en general, los profesores suelen seleccionar los libros que emplean en sus clases teniendo en cuenta la cantidad y calidad visual de las imágenes, pues suponen que las imágenes externas son evidentes, transparentes y más sencillas que otras formas de representación y, por lo tanto, se «instalan» en nuestro cerebro como un modelo de la realidad (Otero et al., 2003).

Sin embargo, ha existido una gran carencia de estudios al respecto, lo que, entre otras causas, ha motivado que el uso de las imágenes y el impacto de la cultura visual en la educación sean objeto reciente de investigación tanto en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, como en otros campos (Greca y Moreira, 1998; Otero y Greca, 2003; Otero et al., 2003; Perales, 2006).

Precisamente la propagación del uso de la imagen en los libros de texto científicos y los escasos estudios acerca de su utilidad pedagógica, junto a las dificultades que muestran los estudiantes en el aprendizaje de los enlaces químicos, han sido los motivos desencadenantes de esta investigación. En concreto, nos planteamos inicialmente si existiría alguna relación entre las imágenes usadas en la enseñanza de los enlaces químicos y las múltiples dificultades que muestran los estudiantes en el aprendizaje de este contenido. Un primer paso a dar en ese planteamiento investigador pasa por analizar las imágenes que usan los libros de texto en el contenido del enlace químico, uno de los que más necesidad de la imagen gráfica

muestra y de los que más dificultades, según la bibliografía, presenta para su aprendizaje. A ello dedicamos el presente trabajo.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

El aprendizaje de la química no resulta sencillo; los alumnos tienen que enfrentarse a leyes y conceptos nuevos y abstractos, establecer conexiones entre ellos y entre los fenómenos estudiados y, por si fuera poco, a la necesidad de utilizar un lenguaje altamente simbólico junto a modelos de representación analógicos que ayuden a la representación de lo no observable (Pozo y Gómez-Crespo, 1998).

Tanto nuestra experiencia como profesores, como estudios realizados concernientes a los conocimientos que los alumnos poseen sobre enlaces químicos (De Posada, 1993, 1999; Kim-Chwee y Treagust, 1999; Madoery et al., 2003; Matus, 2003; Riboldi et al., 2004; Valcárcel et al., 2005; Alvarado, 2005) revelan que, generalmente, aquéllos muestran dificultades en el aprendizaje de este contenido y presentan algunos conceptos erróneos, falta de coherencia en las respuestas y una comprensión deficiente.

Aunque reconocemos la importancia de la comprensión del texto escrito por parte del lector para indagar de un modo global en las posibilidades didácticas del libro de texto, estimamos con Perales y Jiménez (2002) que la dimensión icónica es de la suficiente relevancia para dedicarle en exclusiva una línea de investigación. En particular, en la enseñanza del enlace químico y de los conceptos relacionados, el uso de imágenes o ilustraciones es incuestionable; no es un recurso sino un fin en sí mismo. Se hace por tanto preciso describir cómo son esas imágenes para, en segundo término, intentar analizar su adecuación psicodidáctica. Concretamente, hemos pretendido:

- a) Indagar en la literatura educativa sobre estudios relacionados con las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de la química.
- b) Utilizar o adaptar algún instrumento para clasificar dichas imágenes en una muestra de libros argentinos de EGB 3 y Polimodal (Tabla 1).
- c) Tratar de comparar, si es posible, los tipos de imágenes usados en ambos niveles educativos.
- d) Valorar la pertinencia de las ilustraciones utilizadas desde el punto de vista psicodidáctico.

Tabla 1
Correspondencia de niveles educativos entre Argentina y España.

ARGENTINA		EDADES	ESPAÑA	
EGB 3 (Tercer nivel de la Escuela General Básica)	7° de EGB	12	1° de ESO	ESO (Educación Secundaria Obligatoria)
	8° de EGB	13	2° de ESO	
	9° de EGB	14	3° de ESO	
Polimodal	1° de Polimodal	15	4° de ESO	
	2° de Polimodal	16	1° de Bachillerato	Bachillerato
	3° de Polimodal	17	2° de Bachillerato	

En definitiva, tratamos de desvelar las características de las imágenes usadas para la enseñanza del enlace químico en los distintos niveles de escolaridad y responder algunas cuestiones tales como: ¿se usan unas imágenes más que otras según los niveles de enseñanza?, y si fuera así, ¿cumplen esas imágenes con lo que los fundamentos teóricos establecen acerca de su idoneidad didáctica?...

Queremos hacer notar que el análisis de las ilustraciones de los libros de texto que abordamos en este artículo no se plantea de forma explícita estudiar el papel que aquellas desempeñan en la secuencia de enseñanza de los mismos, algo que ya fue tratado por Jiménez y Perales (2001) en esta misma revista, aunque introduciremos algunos comentarios al respecto con el fin de confirmar nuestro análisis previo cuando lo consideremos necesario. De otra parte, tampoco incluiremos en nuestro estudio un tipo de ilustración específica de la representación del conocimiento científico, como son las gráficas, cuya problemática particular excede los propósitos de esta investigación (García y Perales, 2007).

BASES TEÓRICAS

Inscribir el análisis de imágenes en un marco teórico no es un asunto baladí. Tratamos con un tópico de naturaleza esencialmente interdisciplinar, en el que intervienen la semiótica, la psicología cognitiva, la epistemología y la historia de la ciencia o la propia didáctica de las ciencias experimentales. Se hace por tanto inabordable en un trabajo de estas características tratar dicho marco de una manera global, cuestión que ha abordado recientemente en esta revista Perales (2006). Comenzaremos por tanto con unas consideraciones acerca de la comunicación en el aula mediante imágenes, pasaremos a revisar los precedentes investigadores en el seno de la enseñanza de la química y finalmente discutiremos las categorías de clasificación de las ilustraciones que hemos hallado en la literatura.

a) El uso de las imágenes en el aula

Como señala Lemke (2006), el aprendizaje se produce no sólo a través del lenguaje (oral o escrito) sino a través también de distintos tipos de representaciones visuales, tanto estáticas (las de los libros de texto) como dinámi-

cas, combinando texto e imagen (Kress y Van Leeuwen, 2001), mediante procesos que no son espontáneos, sino que precisan ser enseñados de modo específico.

Si consideramos que el proceso de aprendizaje es un proceso comunicativo –entre profesor y alumno–, está claro que, para que se produzca el aprendizaje, tiene que haber comunicación, es decir que ambos deben compartir el mismo lenguaje (Perales-López y Romero-Barriga, 2005). Pero el lenguaje que se utiliza en las clases de ciencias y en la de química en particular es un lenguaje específico, diferente al utilizado en situaciones cotidianas (Jiménez-Aleixandre et al., 2003). Las imágenes que se emplean en las clases de ciencias constituyen un lenguaje simbólico y desempeñan un papel importante en la visualización de entidades no visibles, por ejemplo la disposición de los átomos en la molécula, los vectores que representan las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, entre otras. Estas representaciones visuales tienen sus códigos particulares, que son propios del lenguaje visual y que es preciso conocer para poder interpretarlas. Por lo tanto, la interpretación que el lector hace de la imagen supone, además de la percepción, una competencia lingüística diferente a la que tiene para la textual (Solaz, 1996).

De lo expuesto, deducimos que la comunicación mediante imágenes es un proceso de resultado incierto. Las imágenes no son sencillas y transparentes, sino que desbordan el sentido, están llenas de alusiones, a veces cargadas de ambigüedad y, en consecuencia, permiten múltiples lecturas y no sólo una (Perales y Jiménez, 2002; Otero y Greca, 2003).

No obstante, existe un consenso entre los profesores basado en la tradición de que las imágenes facilitan el aprendizaje. Según investigaciones previas, persisten algunas concepciones de «psicología popular» acerca de la imagen (Otero y Greca, 2003; Perales y Jiménez, 2004; Fanaro et al., 2005). Tales concepciones subyacen al uso pedagógico de la imagen en los libros de texto y quizás también en el trabajo del aula:

- Hay una relación directa entre imágenes externas e internas, que se almacenan como fotos en la cabeza.
- Las imágenes son más «sencillas» que las palabras y se recordarían y comprenderían más fácilmente.

- Las imágenes son transparentes, «auto evidentes», por tanto, no necesitan explicación ni decodificación.
- Las imágenes representan conocimiento «verdadero».
- Las imágenes externas son más adecuadas para los niveles iniciales de la escolaridad –aún para EGB 3 y polimodal– porque se comprenden mejor que las palabras.
- Las ilustraciones motivan a los estudiantes y, como resultado, mejoran la atención y favorecen el aprendizaje.
- Las imágenes ayudan a los estudiantes menos dotados intelectualmente.
- Mejoran la comprensión de procesos complejos al dar una visión de «conjunto».

Sin embargo, las investigaciones provenientes de la psicología cognitiva muestran resultados no demasiado compatibles con las creencias citadas anteriormente, ya que las imágenes externas no originarían necesariamente imágenes mentales. La comprensión e interpretación de las representaciones externas verbales o pictóricas es producto de un proceso complejo, que supone la representación interna de la información externa, de manera personal y constructiva (Fanaro et al., 2005). Esto es, las imágenes, como símbolos que son, no significan nada en sí mismas. Son las personas las que las interpretan en función de sus necesidades de información, sus estrategias para procesar dicha información, sus conocimientos previos, su capacidad y su determinación.

Al respecto, Weidenmann (1988, citado en Lewalter, 2003) argumenta que el proceso cognitivo de las imágenes no es tan fácil como frecuentemente se supone. De ahí que según estudios realizados (Mayer, 1994; Weidenmann, 1988, citados en Lewalter, 2003), los alumnos suelen tener dificultades tanto en establecer conexiones entre la información textual y visual como para identificar información relevante presentada en una ilustración.

b) El uso de imágenes en la enseñanza-aprendizaje de la química

Las representaciones simbólicas, los diagramas de partículas, las fórmulas y ecuaciones químicas son medios esenciales para la comprensión de los modelos de materia y para la comunicación, en general, en el aula de química. Pero también son fines de enseñanza, pues aprenderlos implica apropiarse de los lenguajes que los químicos utilizan en sus interpretaciones de la realidad. Deben por tanto ser considerados partes del lenguaje químico (Hoffman y Laszlo, 1991).

Aunque no muy abundantes, empiezan a aparecer estudios que tratan de establecer las condiciones mediante las que las imágenes pudieran favorecer un más adecuado aprendizaje de la química.

Según Treagust y otros (2000), hay muchas formas de representar moléculas y átomos y cada una de ellas se

usa para destacar aspectos particulares del hecho que se pretende explicar. Ninguna de estas representaciones es universalmente aplicable y la representación particular escogida en una situación dada es dependiente de la misma. Aunque cada representación tiene sus ventajas particulares, ni los libros de texto ni los profesores incluyen generalmente descripciones de las equivalencias y diferencias entre ellas.

También Guevara y Valdez (2004), al tratar de sintetizar las dificultades asociadas a la enseñanza y aprendizaje de los modelos químicos, señalan que se sabe muy poco acerca de cómo cada representación del estudiante interactúa con los diversos modelos presentados por los profesores y por los materiales didácticos empleados. No obstante, la falta de identificación de la sintaxis propia de cada modelo, de su dominio de validez y de las conexiones referenciales entre las distintas representaciones y entre éstas y el texto, parecen estar en el origen de estas dificultades (Benarroch, 2000).

En un interesante estudio general sobre el pensamiento visoespacial implicado en el aprendizaje de la química (Wu y Shah, 2004), los autores se centran en tres aspectos del mismo: los requerimientos de habilidades espaciales de los estudiantes, sus errores y dificultades de comprensión en las representaciones visuales y en los recursos audiovisuales existentes para ayudarles a superar estas dificultades. Asimismo concluyen con una serie de recomendaciones generales: (1) proporcionar representaciones y descripciones múltiples para una misma información; (2) explicitar las conexiones referenciales entre las distintas representaciones y entre éstas y el texto, a ser posible con la intervención del propio alumno; (3) presentar la naturaleza interactiva y dinámica de la química mediante representaciones estáticas o dinámicas que consideren la demanda cognitiva por parte de sus usuarios; (4) promover la transformación entre representaciones bidimensionales y tridimensionales; y (5) reducir la carga cognitiva de las representaciones haciendo explícita la información que suministran e integrándola con la que tienen los estudiantes.

Ardac y Akaygun (2005) abordan un estudio más específico, comparando el uso de imágenes estáticas y dinámicas en las representaciones moleculares para la enseñanza del cambio químico, mostrándose más efectivas las imágenes dinámicas utilizadas individualmente por los estudiantes (en su propio ordenador) y ayudados por el profesor en la clarificación de las posibles contradicciones en el lenguaje verbal y el icónico.

Más próximo a los propósitos de nuestro estudio, Han y Roth (2006) se centran en analizar, en una muestra coreana de libros de texto de química, la función y estructura de las ilustraciones que se relacionan con la estructura particular de la materia, con el ánimo de explicitar los «códigos químicos» que subyacen a las ilustraciones. Sus resultados ponen de manifiesto: (1) la inconsistencia en los modelos de representación de partículas usados en los distintos libros; (2) la dificultad de relacionar adecuadamente ilustración y texto; y (3) las contradicciones existentes en los signos que se emplean para denotar al-

gunos contenidos, incluso entre la ilustración y el propio texto. Concluyen reclamando el papel activo del profesor, tanto en la toma de conciencia de estas dificultades como en servir de guía para ayudar a sus alumnos en su superación.

Algunos estudios tratan de clarificar el tipo de lenguaje y códigos que se utilizan cuando nos comunicamos en química mediante estas ilustraciones. Para Galagovsky (2004), todas las representaciones químicas no utilizan el mismo lenguaje dentro del nivel simbólico. Distingue los siguientes lenguajes:

a) *lenguaje gráfico*, utilizado, por ejemplo, en los esquemas de partículas y en los modelos de bolas, de bolas y varillas, modelos fusionados, etc. Así, por ejemplo, un modelo de bolas para representar la molécula de agua implica los siguientes conocimientos para el experto en química:

- esferitas sólidas, con volúmenes atómicos que no se corresponden con las distribuciones de masa, y con colores arbitrarios.
- ángulo de 105° (explicando el momento bipolar de la molécula y por tanto sus propiedades).

b) *lenguaje formal*, utilizado por ejemplo en las representaciones de Lewis y en las fórmulas moleculares. Por ejemplo, la representación de Lewis para la molécula de agua implica la utilización de un lenguaje formal cuyos códigos podrían enunciarse de la siguiente manera:

- se utilizan las letras que designan los elementos químicos como si fueran los núcleos de cada uno de ellos y la totalidad de sus electrones, excepto los electrones de valencia.
- se utilizan segmentos como nexo entre letras para representar las uniones químicas no iónicas entre los átomos.

Sin embargo, para Hoffmann y Laszlo (1991), todas las representaciones químicas utilizan en parte un *lenguaje gráfico* y en parte un *lenguaje formal*: «*las fórmulas químicas mantienen una fuerte conexión con las experiencias sensoriales; en contraste con las palabras mundanas, ellas tienen un importante componente representacional [...]. De hecho, las estructuras químicas difieren de las palabras del lenguaje normal porque combinan valores simbólicos y representacionales. Por tanto, son intermedias entre símbolos y modelos [...]. Una fórmula química es en parte pura imaginación y en parte inferencia*».

Parece claro que la terminología de símbolos representacionales podría ser útil para poner de manifiesto el carácter dual –semántico y analógico– de las imágenes químicas. Lo realmente importante no es la terminología sino la toma de conciencia entre los enseñantes de cuál es la naturaleza de lo que enseñamos. Las fórmulas no son fotografías de una realidad, pero tampoco son inven-

ciones arbitrarias como lo son las palabras del lenguaje verbal. Son convenciones simbólicas utilizadas por los químicos para comunicar ciertos aspectos de la experiencia sensible.

Esta dualidad, desde nuestro punto de vista, se encuentra en cualquier clase de representación, ya sea de bolas o ya sea de Lewis, pero quizás, como dice Galagovsky (2004), el peso específico de ambos componentes sea variable. El carácter gráfico podría estar más acentuado en ciertas tipologías de representación (esquemas de partículas, modelos de bolas, de empaquetamiento, de bolas y varillas, de varillas...) y el carácter formal en otras (estructuras de Lewis, estructuras moleculares). Veremos cómo esta clasificación puede ser utilizada para caracterizar las imágenes de los libros de texto en los distintos niveles educativos.

c) Categorías de clasificación de ilustraciones en libros de texto

A continuación, describiremos los aspectos formales y semánticos de las ilustraciones que según las investigaciones previas influyen sobre el aprendizaje.

Sabemos que las imágenes dominan el mundo actual y el campo educativo, por ello es necesario conocerlas, decodificarlas, interpretarlas y saber usarlas. Así es que analizar las ilustraciones que encontramos en los libros de texto supone considerar diferentes propiedades, algunas de las cuales se detallan a continuación.

Función de la imagen

Otero y otros (2003) y Levin y otros (1987, citado en Solaz, 1996) proponen las siguientes funciones de la imagen:

- Hacer visualmente atractivo el texto.
- Reducir la abstracción del discurso verbal a través de descripciones y relaciones con el texto, buscando favorecer la comprensión del mismo.
- Ayudar a recordar la información importante.
- Organizar coherentemente la información.
- Para introducir un tema, o para enfatizar el uso del discurso visual como las secciones llamadas temas con imágenes, infografías, lectura de imágenes, que estarían destinadas a aprender con imágenes.

Por su parte, Carney y Levin (2002, citado en Perales-López y Romero-Barriga, 2005) han detallado las siguientes funciones que cumple la imagen como complemento al texto.

- Representativa: la imagen representa o refleja parte del texto, como por ejemplo en las ilustraciones de los cuentos.

– Organizativa: la imagen provee un marco estructural adecuado para el contenido del texto, por ejemplo, una ilustración que muestra los distintos pasos para el armado de un equipo de destilación.

– Interpretativa: la imagen ayuda a clarificar un texto difícil y hace uso de conocimientos previos a través del razonamiento por analogía, por ejemplo representando la presión arterial utilizando un sistema de bombeo como metáfora.

– Transformacionales: la imagen incluye principios mnemónicos sistemáticos para mejorar el recuerdo de la información contenida en el texto.

Por su parte, Perales y Jiménez (2004) apuestan por analizar la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones, haciendo referencia al para qué se emplean las imágenes, en qué pasaje del texto se sitúan, etc. (Jiménez y Perales, 2001). Distinguen las siguientes subcategorías: evocación, definición, aplicación, descripción, interpretación, problematización. No obstante, estos autores analizaron las imágenes de los libros de texto relacionadas con el concepto de *fuera*, concepto con unas características muy diferentes al que nos ocupa, a saber, el del *enlace químico*. Concretamente, el bagaje experimental que los seres humanos tenemos respecto a la mecánica elemental es mucho mayor que el que tenemos respecto al enlace químico, lo que afecta de modo especial a esta categoría. En consecuencia, una cuestión previa es la posible extrapolación de las mismas categorías a este nuevo contenido.

Por juicio de tres expertos, se acordó mantener los mismos nombres usados por sus autores dado que se verificó su validez en el contexto de la química y abarcaba de forma razonable las funciones propuestas por el resto de los autores citados anteriormente. Así en la tabla 2 se puede ver que los ejemplos propuestos se refieren al contenido del enlace químico.

En este sentido, Guevara y Valdez (2004), ya citados anteriormente, señalan que las funciones que las imágenes químicas desempeñan en la enseñanza de la química son primordialmente explicatorias, descriptivas y ejemplificativas, mientras que su utilización para la predicción y elaboración de hipótesis es raramente atendida.

Grado de iconicidad

Pro (2003) define el grado de iconicidad como el grado de realismo de una imagen por comparación con el objeto que representa, por ejemplo, un retrato es más icónico que una caricatura, una fórmula química o una página escrita son todavía menos icónicos, menos semejantes a lo que representan; podemos decir que tienen grado cero de iconicidad (Iradi, 2004). Establece, por tanto, el grado creciente de simbolización. Así, las imágenes de menor grado de iconicidad –las menos realistas– exigirán un mayor conocimiento del código simbólico utilizado (Perales y Jiménez, 2002). La *iconicidad* es el concepto opuesto a la abstracción. Cuanto más abstracta sea la imagen menos icónica será.

Tabla 2

Categorías establecidas para la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones (adaptada de Perales y Jiménez, 2002).

SUBCATEGORÍAS	Evocación	DESCRIPCIÓN	Hace referencia a un hecho cotidiano o concepto que se supone conocido por el alumno. Ej. «para entender una reacción química, podemos hacer esta comparación: los alumnos de un curso se encuentran tomados de la mano en grupos de cuatro, luego se sueltan, forman nuevos grupos y se vuelven a tomar de la mano».
	Definición		Establece el significado de un término nuevo en su contexto teórico. Ej. «la unión iónica es aquella en la que hay transferencia de electrones de un metal a un no metal...».
	Aplicación		Es un ejemplo que extiende o consolida una definición. Ej. «en el caso del óxido de calcio, conocido en el comercio como «cal viva», sucede lo siguiente».
	Descripción		Se refiere a hechos no cotidianos que se suponen desconocidos por el lector y que permiten aportar un contexto necesario. También se incluyen en esta categoría conceptos necesarios para el discurso principal pero que no pertenecen al núcleo conceptual. Ej. «cuando dos átomos de hidrógeno se unen y forman una molécula biatómica, cada uno contribuye con su electrón en la formación del par electrónico».
	Interpretación		Son pasajes explicativos en los que se utilizan los conceptos teóricos para describir las relaciones entre acontecimientos experimentales. Ej. «...los electrones están más cerca del átomo más electronegativo, que es el de mayor capacidad para atraer electrones... la molécula es covalente polar».
	Problematización		Se plantean interrogantes que no pueden resolverse con los conceptos ya definidos. Su finalidad es incitar a los alumnos a poner a prueba sus ideas o estimular el interés por el tema presentando problemas que luego justifican una interpretación o un nuevo enfoque.

Aplicado a los libros de texto, Perales y Jiménez (2002, pp. 375-376) han propuesto una clasificación del grado de iconicidad de las ilustraciones que se extiende desde la fotografía (mayor iconicidad) a la descripción en signos normalizados (menor iconicidad).

Relación con el texto principal

Es la relación establecida entre el texto, que sostiene el conjunto del discurso narrativo o argumentativo y las ilustraciones que muestran aspectos parciales del mismo (Perales y Jiménez, 2002, p. 377). Estos autores distinguen tres subcategorías según la intensidad de esta relación (de menor a mayor): connotativa, denotativa y sinóptica.

Por su parte, Otero y otros (2003) proponen tres tipos de relación entre la información visual y la información textual.

– Asociativa: en este caso se establecen muy pocas referencias entre la imagen y el texto. Se considera una contigüidad espacial entre ambos, con lo que se pretende una vinculación por asociación que debe realizar el lector. Esta categoría sería similar a la denominada connotativa propuesta por Perales y Jiménez (2002).

– Descriptiva: la mayor explicitación está dada en el texto, donde las imágenes son descritas y explicadas pero la interpretación la debe realizar el lector.

– Interactiva: existe una relación especial e infrecuente entre imágenes y texto, que puede o no estar orientada a derivar conocimiento y a interpretar la imagen.

Pérez de Eulate y otros (1999) sostienen que la relación más utilizada en los libros de texto es la que consiste en ubicar las imágenes en relación directa con el texto escrito, siendo citadas en él y dependiendo del mismo para su comprensión. En este caso, el texto escrito es el que aporta el contenido total de la información y la imagen cumple el papel de mera ilustración. Esta relación sería similar a la categoría denominada denotativa propuesta por Perales y Jiménez (2002) y a la categoría descriptiva propuesta por Otero y otros (2003). En el extremo opuesto de la relación verbo-icónica, Pérez de Eulate y otros (1999) ubican las imágenes que tienen mayor cantidad de información y, además, ésta es diferente a la contenida en el texto escrito.

Etiqueta verbal

Es el mensaje de texto que acompaña a la imagen, ya sea superpuesto a la misma o de modo adjunto, como los pies de figura que subtítulan algunas veces a las ilustraciones.

Las subcategorías propuestas para esta categoría por Perales y Jiménez (2002) son tres: sin etiquetas, nominativa (letras o palabras que identifican algunos elementos de la ilustración) y relacional (textos que describen las relaciones entre los elementos de la ilustración).

Pérez de Eulate y otros (1999) denominan a las etiquetas verbales como anotaciones verbales (rótulos) y sostienen que establecen un nexo fundamental ya que participan del contenido presentado en el texto (por ser de naturaleza verbal) y, al mismo tiempo, pertenecen al ámbito de la imagen por encontrarse dentro del espacio de la ilustración. Al mismo tiempo, estos autores consideran que las etiquetas verbales se utilizan para diversos fines, entre ellos: para seleccionar información relevante presente en el texto o en la imagen y para poner de manifiesto la relación causa-efecto sobre un proceso o para establecer relaciones entre diferentes partes de una imagen (equivalente a la subcategoría relacional mencionada anteriormente).

Contenido científico que las sustenta

Este aspecto de las ilustraciones se refiere al contenido de las imágenes; es por lo tanto, específico de la temática analizada, en nuestro caso el enlace químico. En ella caben análisis de distinta naturaleza, tales como: contenidos ilustrados, errores técnicos o científicos presentes en las ilustraciones, o inducción/disuasión de ideas alternativas características de los alumnos.

METODOLOGÍA

Instrumento usado para el análisis de los libros de texto

Tras el análisis de las diferentes propiedades que podían ser analizadas en las imágenes usadas para la enseñanza del enlace químico en los libros de texto, como hemos justificado, se optó por utilizar como base la clasificación de Perales y Jiménez (2002). Se trata de una clasificación que tiene en cuenta una multiplicidad de aspectos de las imágenes (iconicidad, relación con el texto principal, etiqueta verbal, función de la secuencia didáctica y contenido científico que las sustenta), lo que permite considerarla como una clasificación completa y representativa que incluye todos los apartados señalados en el epígrafe anterior. Las clasificaciones de los demás autores: Moles (Iradi, 2004), Santos Guerra (1984, citado en Pro, 2003), Otero y otros (2003), Pérez de Eulate y otros (1999), Carney y Levin (2002, citado en Pérez de Eulate et al., 1999), son limitativas porque consideran sólo aspectos parciales.

Por tanto, las categorías de análisis propuestas por Perales y Jiménez (2002) y su descripción se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Categorías de análisis que constituyen la taxonomía y descripción de las mismas (tomada de Perales y Jiménez, 2004).

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
1. Función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones	Para qué se emplean las imágenes, en qué pasajes del texto se sitúan, etc.
2. Iconicidad	Qué grado de complejidad poseen las imágenes.
3. Relación con el texto principal	Referencias mutuas entre texto e imagen. Ayudas para la interpretación.
4. Etiquetas verbales	Textos incluidos dentro de las ilustraciones.
5. Contenido científico que las sustenta	Caracterización desde el punto de vista científico de las situaciones representadas en las imágenes.

La adaptación de esta taxonomía a las ilustraciones correspondientes al contenido del enlace químico no fue fácil, dado que, como ya ha sido señalado, estos autores diseñaron la taxonomía para un contenido con una carga empírica muy superior al contenido que nos ocupa. No obstante, se optó por introducir las modificaciones en la medida que éstas fueran siendo necesarias, contando para ello con el juicio de tres expertos.

A este respecto, una de las categorías que más dificultades planteó en su proceso de adaptación fue el grado de iconicidad. En los libros de texto más básicos son frecuentes las imágenes que priman la representación orgánica y en las que se muestran los objetos mediante la imitación de la realidad. Responden a la subcategoría de grado de iconicidad de *dibujos figurativos*. Véase a modo de ejemplo en la tabla 4 la imagen de los dos *clips* enlazados para representar una molécula.

También hay imágenes que representan acciones o magnitudes inobservables –como los átomos, iones, fuerzas de interacción entre ellos, etc.–, en un espacio de representación heterogéneo, como símbolos, flechas, puntos y cruces que representan electrones, etc., y que responden a la subcategoría de *dibujo figurativo + signos* o incluso de *dibujo figurativo + signos normalizados*. Véase en la misma tabla 4 la ilustración del metal sodio.

Pero la problemática mayor se presentó a la hora de clasificar los distintos modelos de representación molecular, que podrían encajar como *dibujos figurativos + signos* o bien como *descripciones en signos normalizados*, al constituir espacios de representación homogéneos y simbólicos que poseen reglas sintácticas específicas. Finalmente, optamos por considerarlas en el primer grupo, esto es, como *dibujos figurativos + signos*, ya que, en mayor o menor medida, muchas de sus entidades tratan de emular o imitar una realidad, si no perceptiva, sí empírica (medidas de los ángulos de enlace, tamaños atómicos y moleculares, etc.). No obstante, se conservó la referencia de las imágenes por si en algún momento se requería una reclasificación.

Por tanto, incluidas dentro de este grado de iconicidad, *dibujos figurativos + signos*, encontramos diversos

modelos de representación de moléculas que deben ser diferenciados por su diverso grado de abstracción. Así no puede quedar igualmente clasificada una imagen de Lewis que un diagrama de rayas o una imagen de bolas y varillas, entre otros, que se detallan en la tabla 4.

En cuanto a las categorías: *relación texto-imagen* y *etiquetas verbales*, no se realizaron modificaciones ya que se adecuaron sin inconvenientes.

Muestra de textos analizados

Este estudio se realizó con una muestra total de 12 libros de texto pertenecientes a los niveles de EGB 3 (7º, 8º y 9º de EGB) y Polimodal, ya que en estos niveles (12 a 17 años) se desarrolla el estudio de los enlaces químicos. Concretamente, nos interesaban los libros de 7º EGB 3 y los de 1º de Polimodal, para poder inferir consecuencias acerca de la apertura y cierre del proceso de enseñanza obligatoria para este contenido (ver Tabla 1 para la comparación de los niveles educativos entre Argentina y España).

Los libros seleccionados corresponden a las editoriales de mayor consumo en el mercado argentino y que han sido editados a partir de 1995, aunque también se incluyen un par de textos publicados antes de 1995, correspondientes a tercer año de la escuela secundaria. Para un detalle exhaustivo de los libros ver tabla 5.

En cada libro se identificaron las imágenes usadas para la enseñanza de los conceptos relacionados con el enlace químico. Se elaboró una ficha para cada libro de texto, con las imágenes escaneadas contenidas en el mismo, y se procedió al análisis taxonómico de cada una de esas imágenes, cuyo número ascendió a un total de 78 imágenes (16 de textos de EGB 3 y 62 de Polimodal). Se procuró incluir en la ficha todos los detalles que resultaban pertinentes para contextualizar la imagen y el texto acompañante.

En el anexo 1 se muestran imágenes de libros de EGB 3 y, en el anexo 2, imágenes de libros de Polimodal. En ambos casos, se ha intentado que fueran representativas de distintos grados de iconicidad.

Tabla 4
Modelos de representación de moléculas correspondientes al grado de iconicidad.

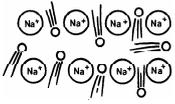
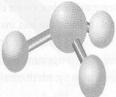
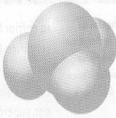
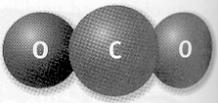
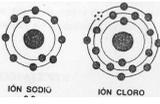
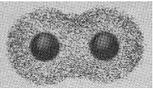
Categorías		Descripción	Ejemplo
	Dibujo figurativo	Prima la representación orgánica, mostrando los objetos mediante la imitación de la realidad	
	Dibujo figurativo + signos	Representan acciones o magnitudes inobservables en un espacio de representación heterogéneo	
	1. Bolas y varillas	Es una representación tridimensional en la cual se indican los átomos mediante bolas y las uniones entre los mismos con varillas	
	2. Fusionado / empaquetamiento	Muestra en forma tridimensional los átomos unidos en forma compacta y sin indicar los enlaces entre los mismos	
	3. Bolas	Es una representación tridimensional en la que los átomos están unidos manteniendo su individualidad	
	4. Varillas	No se indican los átomos, sino sus enlaces. Es una representación tridimensional	
	5. Niveles electrónicos	Se representan los átomos con el núcleo y los electrones alrededor distribuidos según el nivel de energía	
	6. Lewis	Se representa cada átomo con su símbolo, rodeado de puntos que representan los electrones de valencia.	$\text{Na}^+ [:\ddot{\text{Cl}}:] \quad \text{H} \cdot \cdot \text{H}$
	7. Diagrama de rayas	Vincula los átomos con una raya por cada par de electrones que comparten	$\text{H} - \text{H}$
	8. Combinación lineal de orbitales atómicos (CLOA)	Se superponen los extremos de los orbitales atómicos que intervienen en el enlace	
	9. Orbitales moleculares (OM)	Se representa el nuevo orbital molecular formado por la superposición de los orbitales atómicos	
	10. Cuñas	Es una representación tridimensional donde se indican los símbolos de los elementos y los enlaces que están en el plano del papel, hacia delante y hacia atrás del mismo	
	11. Molecular	Indica los átomos y la cantidad de los mismos que forman la molécula	H_2O

Tabla 5
Libros seleccionados para el análisis de imágenes.

TÍTULO	AUTOR	LUGAR -EDITORIAL	AÑO	NIVEL
El libro de la naturaleza y la tecnología 7	Domenech, G., Espinoza, C., Frid, D., Huberman, N., Umerez, N. y Casanova, H.	Buenos Aires - Estrada	1997	7° EGB 3 (12 años)
Ciencias naturales 7	Carreras, N., Conti, O., Fernández, C., Lantz, M., Milano, C. y Oliver, C.	Buenos Aires - Puerto de Palos	2001	7° EGB 3 (12 años)
Naturaleza en red 7	Bassarsky, M., Valerani, A., Arriazu, F., Cornejo, J., Drewes, A., Martínez Larghi, M. y Villegas, D.	Buenos Aires - AZ	2001	7° EGB 3 (12 años)
Ciencias naturales 7	Lara, G., Nisenholz, R., Sellés-Martínez, J., Victoria, C.	Buenos Aires - Tinta Fresca	2005	7° EGB 3 (12 años)
Ciencias naturales 7	Aristegui, R., Fernández, E., Franco, R. y Valli, R.	Buenos Aires - Santillana	2002	7° EGB 3 (12 años)
Ciencias naturales 8	Aristegui, R., Barderi, M., Cittadino, E., Delmonte, J., Fernández, E., Granieri, P., Morales, E., Rinaldi, M. y Schipani, F.	Buenos Aires - Santillana	1997	8° EGB 3 (13 años)
Química general e inorgánica	Fernández Serventi, H.	Buenos Aires - Losada	1981	1° Polim. (15 años)
Química 4. Aula taller	Mautino, J.M.	Buenos Aires - Stella	1992	1° Polim. (15 años)
Química I	Alegría, M., Bosack, A., Dal Fávero, M., Franco, R., Jaul, M., Rossi, R.	Buenos Aires - Santillana	1998	1° Polim. (15 años)
Química I. Fundamentos	Aldabe, S., Aramendía, P., Lacreu, L.	Buenos Aires - Colihue	2004	1° Polim. (15 años)
Química	Chandfás, D. O. T. de, Weitz, C. de	Buenos Aires - Kapelus	2003	1° Polim. (15 años)
Química	Dal Fávero, M., Farré, S., Moreno, P., Olazar, L. y Steinman, M.	Buenos Aires - Puerto de Palos	2002	1° Polim. (15 años)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Vamos a ir valorando los resultados obtenidos en la aplicación de las variables taxonómicas previamente descritas a la muestra de libros seleccionada diferenciándola por niveles educativos de EGB 3 y Polimodal, abordando en último lugar un análisis comparativo EGB 3 / Polimodal para la categoría de iconicidad. En los anexos 3 y 4 puede consultarse la clasificación pormenorizada de cada una de las ilustraciones en función del libro (codificado con un número para salvaguardar el anonimato) y del nivel educativo.

Resultados globales para los libros de EGB 3

La aplicación de las variables taxonómicas previamente descritas a la muestra de los seis libros de texto anteriores (Anexo 3) revela ciertas regularidades en cuanto a las imágenes usadas para la enseñanza de los enlaces químicos.

En las tablas 6 a 9 se ha contabilizado el número de imágenes en cada subcategoría. En el caso de la tabla 7, se cuentan 17 en lugar de 16, lo que se debe a que una de ellas tiene dos representaciones con grados de iconicidad diferentes.

Tabla 6
Número de imágenes en las subcategorías de la función de la secuencia didáctica.

CANTIDAD DE IMÁGENES	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA
7	Definición
6	Descripción
2	Evocación
1	Aplicación

Tabla 7

Número de imágenes en las subcategorías del grado de iconicidad.

CANTIDAD DE IMÁGENES	ICONICIDAD
4	Bolas
3	Dibujo figurativo
3	Niveles electrónicos
2	Dibujo figurativo + signos
2	Bolas y varillas
2	Lewis
1	Diagrama de rayas

Tabla 8

Número de imágenes en las subcategorías de la relación con el texto principal.

CANTIDAD DE IMÁGENES	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL
10	Connotativa
3	Denotativa
3	Sinóptica

Tabla 9

Número de imágenes en las subcategorías de la etiqueta verbal.

CANTIDAD DE IMÁGENES	ETIQUETA VERBAL
4	Sin etiqueta
11	Nominativa
1	Relacional

En cuanto a la categoría de la *función de la secuencia didáctica* en la que aparecen estas figuras (Tabla 6), predominan la definición y la descripción. De aquí se infiere que si los libros de este nivel usan las imágenes principalmente para definir y describir conceptos, es que prevalece un discurso expositivo o que, al menos, pretenden dar realce a estas definiciones y descripciones.

Sería deseable que el libro de texto fuera un documento más abierto y heterogéneo (relatando hechos, planteando preguntas, interpretando fenómenos, etc.) para que fuera transmisor de una imagen de ciencia menos dogmática.

Debemos destacar, por otra parte, la falta de uniformidad en los resultados en cuanto al grado de *iconicidad*, de modo que los libros de texto de un determinado nivel de enseñanza, en este caso EGB 3, presentan ilustraciones que se corresponden con exigencias conceptuales muy

variadas, desde los modelos de bolas y dibujos figurativos (por ejemplo, evocación de niños cogidos de la mano y que se cambian de compañero para representar la reacción química) hasta los modelos electrónicos, que, además del nivel atómico, exigen una comprensión de las configuraciones electrónicas de los átomos involucrados.

Esto es evidente en la tabla 7, donde se observa el número de imágenes correspondiente a cada subcategoría. Se puede afirmar cierta tendencia mayoritaria al modelo de bolas y a los dibujos figurativos, aunque no es en absoluto despreciable la heterogeneidad de resultados en esta categoría.

Parece ser que los autores de los libros, o al menos de las ilustraciones, consideran que los dibujos figurativos y los modelos de bolas facilitan el aprendizaje aportando un contexto de referencia a través de analogías con la realidad y haciendo evocaciones con hechos cotidianos, con la intención de evidenciar relaciones o ideas abstractas, no evidentes por sí mismas, como son las uniones entre los átomos. Podría parecerles una forma de facilitar la comprensión de conceptos difíciles y abstractos en alumnos que poseen un pensamiento concreto. No obstante, habría que ser cautos a la hora de elegir las analogías y los modelos, ya que pueden inducir errores conceptuales en aquellos alumnos que no son capaces de ver las diferencias entre el análogo que se utiliza de referencia y el objeto o concepto que se quiere representar. Llama la atención, por ejemplo, en el caso de la representación de moléculas mediante uniones de clips, que las ilustraciones correspondientes usan el mismo clip para representar los átomos de todos los elementos (el mismo para el átomo de carbono que para el átomo de oxígeno). Es cierto que se diferencian en el color, pero no creemos que sea suficiente esta codificación (los átomos de distintos elementos se diferencian también en el tamaño, propiedades, etc.), pudiendo inducir errores conceptuales en el alumnado.

Respecto a la *relación que la imagen guarda con el texto principal*, sí que hay en este sentido bastante uniformidad, pues abundan en nuestro análisis imágenes que tienen predominantemente una relación connotativa con el texto principal, es decir, que éste describe los contenidos sin establecer su correspondencia con los elementos incluidos en la ilustración, sino que esta relación la debe establecer el lector. En este caso, la imagen cumpliría una función ilustrativa. Hay que recordar que, como señala Perales (2006), la concurrencia entre palabras e imágenes mejora el aprendizaje.

En cuanto a las *etiquetas verbales*, prevalecen las figuras con etiquetas nominativas, es decir aquellas que con letras o palabras identifican algunos elementos de la imagen.

El predominio de relaciones connotativas entre imágenes y texto y de etiquetas nominativas es coherente con la idea de que cuanto mayor es la iconicidad de una imagen menos explicaciones se requieren para su comprensión (Perales y Jiménez, 2002). Sin embargo,

dadas las características de este contenido, los enlaces químicos, y las dificultades para su aprendizaje, estas particularidades encontradas no ayudarían a la comprensión.

Con respecto al *contenido científico que sustenta a las imágenes*, es decir, el enlace químico, se puede señalar que en ningún caso figura como tema o capítulo independiente. Los epígrafes en los que se estudia son *transformaciones de la materia, transformaciones y reacciones químicas, el interior de la materia, la composición íntima de los alimentos, los sistemas materiales, y composición de la materia*. Por tanto, los capítulos están más relacionados con el estudio de la composición de la materia y sus transformaciones que con el enlace químico en sí mismo.

En general todo parece sugerir:

- que no hay uniformidad en cuanto al nivel conceptual que se trata de transmitir o reforzar mediante imágenes en los libros de texto;

- que, por otro lado, sea cual sea el nivel conceptual propugnado, el discurso utilizado resulta ser fundamentalmente expositivo, con escasas referencias a las dudas, preguntas, interrogantes, etc.; y

- que hay un exagerado optimismo respecto a la facilidad con que el alumnado de estas edades puede procesar las imágenes.

Resultados globales para los libros de Polimodal

La aplicación de nuestro instrumento de análisis a la muestra de los seis libros de texto de Polimodal (Anexo 4) revela ciertas regularidades en cuanto a las imágenes usadas para la enseñanza de los enlaces químicos.

En las tablas 10 a 13 se muestra el número de imágenes en cada subcategoría.

Tabla 10
Número de imágenes en las subcategorías de la función de la secuencia didáctica.

CANTIDAD DE IMÁGENES	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA
38	Descripción
12	Aplicación
12	Definición

Tabla 11
Número de imágenes en las subcategorías de iconicidad.

CANTIDAD DE IMÁGENES	ICONICIDAD
39	Lewis
14	Diagrama de rayas
10	Niveles electrónicos
6	Molecular
6	Fusionado
6	Dibujo figurativo + signos
7	Bolas y varillas
3	Bolas
2	CLOA
1	OM
1	Cuñas
1	Dibujo figurativo

Tabla 12
Cantidad de imágenes en las subcategorías de la relación con el texto principal.

CANTIDAD DE IMÁGENES	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL
31	Connotativa
27	Denotativa
4	Sinóptica

Tabla 13
Número de imágenes en las subcategorías de la etiqueta verbal.

CANTIDAD DE IMÁGENES	ETIQUETA VERBAL
23	Sin etiqueta
37	Nominativa
2	Relacional

Como se desprende de la tabla 10, *la función de la secuencia didáctica* a que alude la mayor parte de las ilustraciones relacionadas con el enlace químico en los libros de Polimodal tiene la función de *descripción* o de *definición* de los conceptos implicados. En este sentido, se mantiene la tendencia ya observada en los libros de EGB 3, de un claro predominio de la función *descripción*, muchas ve-

ces seguida de la *definición* y *aplicación*, en el conjunto de las unidades de secuencia, lo que conlleva un discurso expositivo, con escasez de elementos problemáticos, interrogantes, dudas, preguntas, etc. La ciencia así expuesta es un ciencia segura, rígida y dogmática, que da poco juego al pensamiento discursivo. Sólo en un par de libros se ha advertido la presencia de problemas propuestos a partir de las ilustraciones (en la EGB 3 no se encontró ninguno).

En segundo lugar, en la tabla 11 se contabiliza el número de imágenes que responde a cada uno de los modelos de representación molecular. El total de este número de imágenes, que se obtiene al sumar las cifras de la columna izquierda de esta última tabla, es muy superior al cómputo de imágenes analizadas (62 imágenes de Polimodal), lo que tiene fácil explicación, puesto que muchas de ellas contienen varias representaciones moleculares conjuntas. Esto permite la obtención de una mayor variabilidad en el grado de iconicidad de las imágenes usadas en los libros de texto relacionadas con el enlace químico. No obstante, si se agrupan los diagramas de Lewis, de rayas y los de niveles electrónicos, se alcanza casi el 68% del total. De cualquier modo, existen diferencias significativas de unos libros a otros.

Si consideramos que las ilustraciones utilizadas en los libros de texto son coherentes con las intenciones de sus autores, de modo que muestran los contenidos o aspectos sobre los que desean centrar la atención del lector y favorecer su aprendizaje, hemos de preguntarnos el motivo por el que los autores de los libros consideran que los modelos de Lewis, de rayas y los de niveles electrónicos, son fundamentales para el aprendizaje de este contenido en el nivel de 1º de Polimodal. Los modelos de bolas y de varillas usados inicialmente en la enseñanza son sustituidos por los modelos de Lewis, rayas y los de niveles electrónicos al final de su educación obligatoria. Estos últimos permiten visualizar los electrones que forman los enlaces, aunque no dan una idea de la representación tridimensional de la molécula, como los primeros que hemos mencionado. No obstante, la multiplicidad de modelos sigue siendo la norma prioritaria.

La tabla 12 muestra que, al igual que en los libros de EGB 3, la *relación texto-imagen* que más destaca es de tipo connotativa; por tanto, generalmente el texto no establece una relación con la imagen, sino que estas relaciones se suponen obvias, debiendo establecerlas el lector. Asimismo, la *etiqueta verbal* que generalmente prevalece es la etiqueta nominativa (Tabla 13), en la que sólo se identifican algunos elementos de la imagen. Estas dos características: relación texto-imagen connotativa y etiqueta verbal nominativa, no están en consonancia con nuestros conocimientos sobre cómo favorecer el aprendizaje.

A tal efecto, y como hemos mencionado anteriormente, la polisemia de las imágenes, sumada a la superficialidad con la que las observamos, excepto que haya razones que nos obliguen a una mirada más rigurosa, plantean la necesidad de dirigir con cuidado su interpretación. Recordemos nuevamente que existen evidencias empíricas de que la concurrencia entre palabras e imágenes mejora el aprendizaje, de modo tal que es previsible que la multiplicidad de modelos, sin una adecuada orientación para su interpretación, no favorezca la comprensión.

No obstante, las tablas 12 y 13 también muestran que hay un porcentaje relativamente alto de la relación texto-imagen denotativa, donde en el texto se establece una correspondencia entre los elementos de la ilustración y los contenidos representados, y de imágenes que no poseen etiquetas verbales. Esto es factible y coherente ya que en muchos casos el texto desarrolla los conceptos intercalando imágenes inherentes a los mismos, con lo cual se hace innecesaria la etiqueta verbal. Esta relación denotativa entre texto e imagen es, a nuestro juicio, una relación positiva para la comprensión del enlace químico, ya que creemos que favorece el aprendizaje de los conceptos, justamente por establecer esa preciada relación entre el texto y la imagen.

Con respecto al *contenido científico que sustenta estas imágenes*, el tratamiento que se le da al tema es más específico, profundo y complejo, como es de esperar, que el de los textos de EGB 3. En primer término, y a diferencia de los libros de EGB 3 donde, como vimos, las imágenes analizadas estaban presentes en los capítulos: *las transformaciones de la materia, transformaciones y reacciones químicas, el interior de la materia, la composición íntima de los alimentos, los sistemas materiales y composición de la materia*, en los libros de Polimodal, las imágenes están situadas en los capítulos denominados: *uniones químicas, enlaces químicos y unión química y estructura molecular*.

Otro aspecto llamativo es la diversidad de modelos para representar las uniones entre átomos, lo que se manifiesta incluso dentro de un mismo texto. Se podría pensar que esta diversificación de modelos es positiva para mostrar el carácter teórico del contenido que nos ocupa, y el papel importante que la modelización tiene en este tipo de contenidos. Los modelos son herramientas útiles e indispensables para enfrentarse a conceptos abstractos y con un lenguaje altamente simbólico. No obstante, como se ha mostrado en investigaciones específicas sobre el aprendizaje de la modelización (Meheut et al., 1988), tanto las reglas sintácticas de cada modelo –y sus limitaciones– como las reglas de correspondencias entre modelos son necesarias para evitar errores en el aprendizaje de los alumnos. Evidentemente, no estamos en desacuerdo con la utilización y diversificación de modelos, sino con la falta de explicaciones sobre las semejanzas y diferencias entre ellos, lo que dificulta la comprensión y comparación de los mismos.

Comparación libros de EGB 3 / Polimodal

Si comparamos el nivel de iconicidad de las ilustraciones de los libros de EGB 3 y Polimodal, se pueden agrupar, a partir de las tablas 9 y 14, el número de imágenes que exige un conocimiento de la configuración electrónica de los elementos (subcategorías del 5 al 10 de la Tabla 4) bajo el epígrafe *modelos de alto nivel*, frente al número de imágenes o *modelos de bajo nivel*, para denominar a los que no tienen esa exigencia conceptual (subcategorías restantes de la Tabla 4). Haciéndolo así, se obtiene la tabla 14, donde se observa que los porcentajes de los grupos de modelos se invierten. Esto es, en EGB 3, el 70% de las imágenes son modelos de bajo nivel, frente al 30% que son de alto nivel. En Polimodal, ocurre prácticamen-

te lo contrario, de modo que el 30% son de bajo nivel, frente al 70 de alto nivel (Figura 1). En este caso, parecen funcionar los criterios intuitivos sobre qué es lo que se debe enseñar según los distintos niveles educativos. Sería deseable una investigación didáctica que pusiera de manifiesto la idoneidad de tales criterios (¿cuáles son realmente los modelos optimizadores del aprendizaje en cada uno de los niveles educativos?; ¿son útiles estos criterios usados por el 70% de las imágenes o tendrá razón el 30% restante...?).

Si en lugar de utilizar como criterio clasificatorio de las imágenes el requerimiento de las configuraciones electrónicas de las mismas, se usa el tipo de lenguaje involucrado, se llega a conclusiones similares. Recordemos en este sentido la clasificación de Galagovsky (2004) que vimos en el apartado del marco teórico. Para esta autora, todos los modelos aquí llamados de bajo nivel utilizan el lenguaje gráfico, mientras que todos los modelos de alto nivel (a excepción del modelo molecular) utilizan el lenguaje formal.

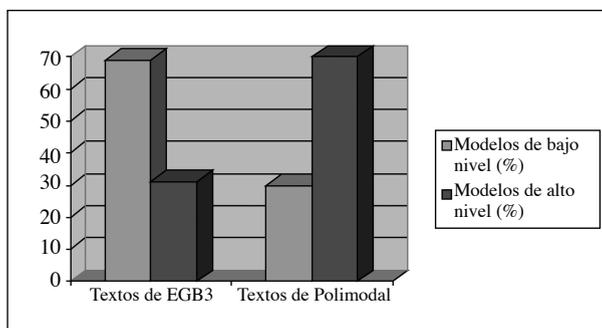
La única excepción a esta regla son las imágenes moleculares que si bien son de nivel bajo (pues no tienen por qué exigir conocimiento de la estructura electrónica de los átomos involucrados), utilizan un lenguaje formal de comunicación. Esta excepción no invalida los comentarios siguientes, dado que sólo afecta al 6% de las imágenes analizadas.

Por tanto, se puede concluir que los autores de libros de texto apuestan mayoritariamente por modelos con lenguajes gráficos para los alumnos de 12 años, mientras que prefieren los modelos con lenguajes más formales para los de 15.

Tabla 14
Comparación del grado de iconicidad de las imágenes en los textos de EGB 3 y Polimodal.

MODELO	NIVEL	Nº DE IMÁGENES	
		EGB 3	Polimodal
Dibujo figurativo	Bajo	3	1
Dibujo fig. + signos	Bajo	2	6
Bolas y Varillas	Bajo	2	7
Fusionado	Bajo		6
Bolas	Bajo	4	3
Varillas	Bajo		
Niveles electrónicos	Alto	3	10
Lewis	Alto	2	39
Diagrama rayas	Alto		14
CLOA	Alto		2
OM	Alto		1
Cuñas	Alto		1
Molecular	Bajo		6
Total		16	96
Total modelos bajo nivel		11(69%)	29(30%)
Total modelos alto nivel		5(31%)	67(70%)

Figura 1
Comparación de los tipos de modelos moleculares usados en la enseñanza del enlace químico en los libros de texto.



CONCLUSIONES

Vamos a tratar de extraer una serie de conclusiones del análisis de libros efectuado en relación con los objetivos que nos planteamos inicialmente en la investigación:

a) La taxonomía de Perales y Jiménez (2002), inicialmente diseñada para el análisis de las ilustraciones sobre mecánica elemental en los libros de texto, se ha mostrado útil en este trabajo para decodificar las imágenes relacionadas con el enlace químico. La adaptación necesaria para ello ha afectado solamente a ciertas categorías de análisis; principalmente al grado de iconicidad, donde se ha dado cabida, como no podía ser menos, a los modelos estandarizados para la representación molecular (modelo de bolas, varillas, Lewis, etc.).

b) Comenzando por el análisis realizado respecto a las *funciones de las secuencias didácticas* que los autores de los libros de texto acompañan de ilustraciones, los resultados, comunes tanto en EGB 3 como en Polimodal, muestran que la función de estas secuencias en el texto es la *descripción*, en muchas ocasiones seguida de la *definición y aplicación*, en el conjunto de las unidades de secuencia. Esto parece sugerir un discurso expositivo, con escasez de elementos problemáticos y divergentes.

Siguiendo por la característica de las ilustraciones *grado de iconicidad*, existe una variedad manifiesta en el que presentan tanto en el nivel de EGB 3 como en el de Polimodal. No obstante lo anterior, la tendencia mayoritaria muestra el uso de imágenes figurativas o de modelos de bolas en EGB 3 y los modelos de Lewis, rayas o de niveles electrónicos para el nivel de Polimodal. Esto es, a los 12 años de edad, el objetivo parece ser mostrar el concepto de *reacción química* o de *sustancia química* usando modelos evocadores de la realidad o que traten de simularla. A los 15 años, son más frecuentes los modelos que exigen la comprensión de la configuración electrónica de los átomos, o modelos de mayor nivel de formalidad y complejidad conceptual.

Como vimos en el marco teórico (Treagust et al., 2000), parece demostrado que el proceso de explicación de un fenómeno a través de diferentes modelos e imágenes induce a establecer nuevas relaciones y favorece la comprensión tanto de los mismos modelos como del proceso de modelización. Por tanto, utilizar distintas imágenes para representar una molécula posibilita tener una buena comprensión del enlace químico, ya que las distintas características de los diferentes modelos representan distintos aspectos de la molécula. No obstante, el grado de iconicidad de los modelos utilizados refleja un diferente nivel de abstracción. Los autores de libros de texto, ante la falta de investigaciones precisas que sugieran los modelos más beneficiosos para los distintos niveles educativos, toman determinaciones basadas en la complejidad científica de los mismos. Sin embargo, el carácter polisémico de las imágenes hace que sea difícil predecir cuál va a ser la interpretación que una persona va a realizar sobre una determinada ilustración. Esta especificidad de la imagen como instrumento de comunicación abierto o ambiguo plantea un problema educativo que afecta a los investigadores, editores, profesores y estudiantes.

Respecto a las *relaciones entre el texto y la imagen*, hay una tendencia mayoritaria, tanto en EGB 3 como en Polimodal, que se resume en un abandono de dichas relaciones. Esto implica que se haga poco caso a las evidencias empíricas de que la concurrencia, en el sentido de apoyo, convergencia, entre palabras e imágenes, mejora el aprendizaje.

Sabemos de las dificultades que autores e ilustradores de los textos tienen para coordinarse entre sí y el consiguiente coste de producción de una ilustración bien conectada con el texto, lo que indudablemente debe repercutir en este tipo de relaciones. Perales y Jiménez (2002) apuntaron, además de la anterior, otras tres razones para justificar la insuficiente conexión entre texto e imágenes, a saber:

- Un exagerado optimismo respecto a la facilidad con que procesamos las imágenes. Dicho de otro modo, como afirmábamos anteriormente, la firme convicción de que las imágenes que percibimos se «instalan» en nuestro cerebro como un modelo mental de la realidad.
- La minimización de las dificultades de interpretación de los elementos simbólicos utilizados en la representación.
- La consideración de que la ilustración es un elemento superfluo que se añade al texto y que no tiene un papel esencial en el aprendizaje de los enlaces químicos.

Sin embargo, si la coherencia entre el lenguaje verbal y el visual usados en la enseñanza es un factor de gran ayuda para cualquier contenido, en el caso de las imágenes empleadas en el enlace químico, esta coherencia es indispensable. Son imágenes que no muestran el mundo, sino que lo transforman (lo «modelizan») con la intención de evidenciar relaciones o ideas no evidentes por sí mismas, a fin de facilitar su comprensión por parte del

lector. No obstante, dado que se trata de imágenes complejas que acompañan a textos complejos, insistimos una vez más en la necesidad de que los autores e ilustradores cuiden estas relaciones texto-imagen con vistas a conformar un cuerpo de información coherente.

IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Finalmente deseamos establecer, a partir de los datos expuestos anteriormente, algunas derivaciones de carácter aplicado dirigidas al profesorado que es, en definitiva, el que se enfrenta a libros de texto con ilustraciones como las que aquí hemos tratado de caracterizar y analizar.

En primer lugar, sería conveniente reflexionar acerca de la pertinencia de las creencias «populares» sobre la naturaleza psicodidáctica de las ilustraciones que mostrábamos en el apartado de bases teóricas.

Al respecto, es incuestionable la necesidad de que el profesor programe actividades específicas cuyo objetivo sea optimizar los efectos positivos que las imágenes o modelos tienen sobre el aprendizaje. Estas actividades orientadas a la lectura de las imágenes deberían enfocarse hacia la interpretación del lenguaje icónico, la comparación de diferentes imágenes con distinto grado de iconicidad, el análisis de diferentes modelos para un mismo fenómeno y la consideración de las ventajas y desventajas de los mismos, así como sus códigos y simbología.

Particularmente relevante nos parece la elección apropiada de sustancias químicas y hechos experimentales a los que se les pueda asociar las representaciones simbólicas convenientes en los distintos niveles educativos. Como demuestran todos los estudios al respecto, el alumno carece del bagaje experiencial necesario para comprender las representaciones que se le proponen. Aunque éstas tengan sentido en el seno de los modelos atómicos y moleculares correspondientes, el verdadero significado de las mismas se adquiere en el ámbito macroscópico al que sirven de referencia. Cuando aprendemos el lenguaje verbal, no nos planteamos por qué el término *silla* identifica al objeto de cuatro patas que sirve para sentarse. Lo aprendemos sin más y nos comunicamos con ese término. Del mismo modo, cuando aprendemos química, podemos usar el lenguaje simbólico a modo de etiquetado, dejando la fase interpretativa del porqué de esa etiqueta y no otra para el momento en que aprendamos los modelos químicos. La oportunidad de estos modelos en los distintos niveles educativos es un reto para la futura investigación didáctica.

Paralelamente, y reclamando el papel del profesor como comunicador multimodal de las ciencias, es positivo utilizar otras formas de representación tridimensionales para modelizar las sustancias químicas, ya mediante modelos didácticos de las estructuras químicas, o modelos de plastilina hechos por los mismos alumnos, o mediante simulaciones por ordenador. Es imprescindible acompañar estas actividades de tareas que obliguen a los alumnos a argumentar, compartir y comunicar los códigos utilizados en esas representaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, C. (2005). La estructura atómica y el enlace químico desde un punto de vista interdisciplinario. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra. VII Congreso, en <http://www.blues.es/sice23/congres2005/material/comuni_orales/2_3/alvarado_819.pdf>.

ARDAC, D. y AKAYGUN, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27(11), pp. 1269-1298.

BENARROCH, A. (2000). Del modelo cinético-corpucular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 23, pp. 95-108.

DE POSADA, J.M. (1993). Estudio de los constructos de los alumnos y análisis secuencial de libros de texto en los niveles de BUP y COU en relación con la estructura de la materia y enlace químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), p. 351.

DE POSADA, J.M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 227-245.

FANARO, M., OTERO, M.R. y GRECA, I. (2005). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), en <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/art2_vol4_N2.pdf>.

GALAGOVSKY, L. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: Derivaciones comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), pp. 349-365.

GARCÍA, J.J. y PERALES, F.J. (2007). ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (1), pp. 107-132.

GUEVARA, M. y VALDEZ, R. (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. *Revista Educación Química*, 15(3), pp. 243-247.

GRECA, I. y MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 289-303.

HAN, J. y ROTH, W.-H. (2006). Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro and microworld. *Science Education*, 90, pp. 173-201.

HOFFMANN, R. y LASZLO, P. (1991). *Representation in Chemistry*, Angewandte Chemie, Int. Ed. Engl. 30, pp. 1-16.

IRADI, T. (2004). Escalas de iconicidad, en <http://www.ehu.es/francoiradi/docencia/apuntes/archivos_pdf/escalas_de_iconicidad.pdf>.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M., CAAMAÑO, A., OÑORBE, A., PEDRINACI, E. y DE PRO, A. (2003). *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Graó.

JIMÉNEZ, J. y PERALES, F.J. (2001). El análisis secuencial del contenido. Su aplicación al estudio de libros de texto de Física y Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp. 3-19.

JIMÉNEZ, J. y PERALES, F.J. (2002). La evidencia experimental a través de la imagen de los libros de texto de Física y Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2).

KIM-CHWEE, D.T. y TREGUST, D.F. (1999). Evaluating students understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81(294), pp. 75-83.

KRESS, G. y Van LEEUWEN, T. (2001). *Multimodal discourse*. Londres: Arnold.

LEMKE, J.L. (2006). Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), pp. 5-12.

LEWALTER, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, pp. 177-189.

MADOERY, R., MÖLLER, M.A., PEME-ARANEGA, C., BENITO, M., MESTRALLET, M., ROMERO, C. y CADILE, S. (2003). La construcción de las nociones básicas de Química en ciencias agropecuarias: el caso de «efectos electrónicos en las moléculas». *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), pp. 419-428.

MATUS, M.L. (2003). «El uso del Mapa Semántico en relación con el aprendizaje de las Uniones Químicas». Tesis de Magister en Educación en Ciencias. Universidad de Alcalá, España.

MEHEUT, M., LARCHER, C. y CHOMAT, A. (1988). Modelos de partículas en la iniciación a las ciencias físicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 231-239.

OTERO, M.R. y GRECA, I. (2003). *Las imágenes en los textos de Física: entre el optimismo y la prudencia*. Apuntes del Taller El uso de las imágenes en la Enseñanza de las Ciencias desde una perspectiva cognitiva. IX Congreso Nacional de Profesores de Ciencias y V Congreso Internacional de Profesores de Ciencias. Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, Chile.

OTERO, M.R., MOREIRA, M.A. y GRECA, I. (2003). *El uso de las imágenes en textos de Física para la Enseñanza Secundaria y Universitaria*. Apuntes del Taller El uso de las imágenes en la Enseñanza de las Ciencias desde una perspectiva cognitiva. IX Congreso Nacional de Profesores de Ciencias y V Congreso Internacional de Profesores de Ciencias. Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, Chile.

PERALES-LÓPEZ, J.C. y ROMERO-BARRIGA, J.F. (2005). Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didácticos: una aproximación cognitiva. *Anales de Psicología*, 21(1), pp. 129-146.

PERALES, F.J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), pp. 13-30.

PERALES, F. J. y JIMÉNEZ, J. (2004). Las ilustraciones en los libros de Física y Química de la ESO. *Educación Abierta. Aspectos didácticos de Física y Química 12*. ICE de la Universidad de Zaragoza, pp. 11-65.

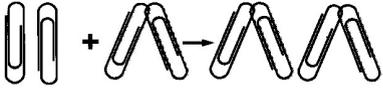
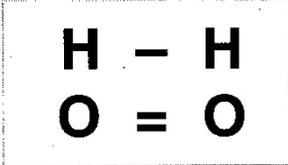
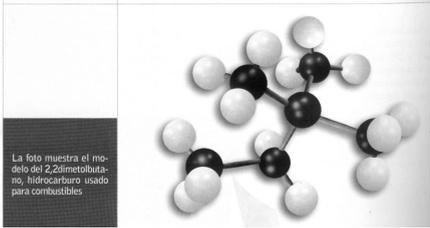
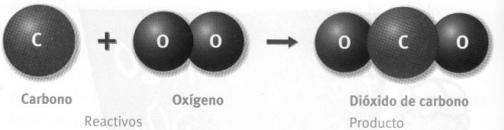
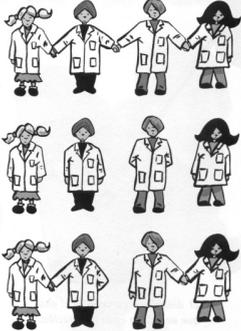
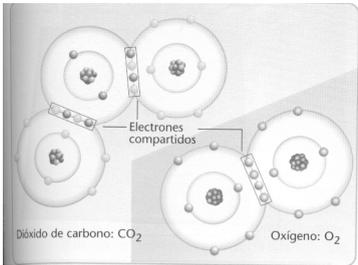
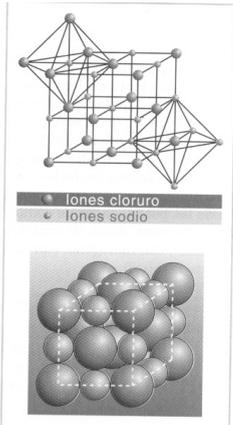
PERALES, F.J. y JIMÉNEZ, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de textos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), pp. 369-386.

- PÉREZ DE EULATE, L., LLORENTE, E. y ANDRIEU, A. (1999). Las imágenes de digestión y excreción en los textos de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 165-178.
- POZO, J.I. y GÓMEZ-CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- PRO, M. (2003). *Aprender con imágenes. Incidencia y uso de la imagen en las estrategias de aprendizaje*. España: Paidós.
- RIBOLDI, L., PLIEGO, O. y ODETTI, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 195-212.
- SOLAZ, J. (1996). Diagramas: ¿ilustraciones eficaces en la instrucción en ciencias? *Educación Química*, 7(3), pp. 145-149, en <<http://www.fquim.unam.mx/sitio/edquim/73/73-ilus.pdf>>.
- TREAGUST, D., DUIT, R. y NIESWANDT, M. (2000). Sources of student's difficulties in learning Chemistry. *Revista Educación Química*, 11(2), pp. 228-235.
- VALCÁRCEL, M.V., SÁNCHEZ, G. y ZAMORA, A. (2005). Conocimientos de los alumnos de ESO y bachillerato (14-18) sobre el modelo iónico del enlace químico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso.
- WU, H.K. y SHAH, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in Chemistry learning. *Science Education*, 88, pp. 465-492.

[Artículo recibido en noviembre de 2006 y aceptado en septiembre de 2007]

ANEXO 1

Imágenes de libros de EGB con características icónicas diferentes.

<p>Fig. 1.1</p>	<p>La fórmula de la sustancia carbono estará representada por un solo ganchito rojo: Representación química: C Representación con ganchitos: </p> <p>La fórmula de la sustancia oxígeno estará representada por dos ganchitos azules enlazados entre sí: Representación química: O₂ Representación con ganchitos: </p> <p>La fórmula de la sustancia dióxido de carbono estará representada por un ganchito rojo y dos azules enlazados entre sí: Representación química: CO₂ Representación con ganchitos: </p>	<p>$2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$</p> <p>Observen que en este caso colocamos el número dos delante de la sustancia carbono, y también, delante de la sustancia monóxido de carbono. Significa que, para que el cambio ocurra, deben encontrarse dos unidades de la sustancia carbono (C) con una sola unidad de la sustancia oxígeno (O₂). Como resultado de la transformación, se obtienen dos unidades de la sustancia monóxido de carbono.</p> <p>Utilizamos también ganchitos para interpretar qué ocurre durante la transformación.</p> 	<p>Fig. 1.2</p>
<p>Fig. 6.2</p>	 <p>Enlaces covalentes entre dos átomos de hidrógeno y dos átomos de oxígeno.</p>	 <p>La foto muestra el modelo del 2,2,4-trimetilpentano, hidrocarburo usado para combustibles</p>	<p>Fig. 3.2</p>
<p>Fig. 2.2</p>	 <p>Carbono + Oxígeno → Dióxido de carbono</p> <p>Reactivos Producto</p>	<p>Si se ponen los "antefijos de ver átomos" con clips, botones o bolitas de plastilina pueden armar moléculas de agua como las siguientes:</p> 	<p>Fig. 4.2</p>
<p>Fig. 2.1</p>  <p>Para entender una reacción se puede hacer esta comparación: los alumnos de un curso se encuentran tomados de la mano en grupos de cuatro chicos. A una señal de la maestra, se sueltan (rompen sus uniones), forman grupos distintos de los anteriores (se reordenan) y se vuelven a tomar de la mano (forman nuevas uniones).</p>	 <p>Electrones compartidos</p> <p>Dióxido de carbono: CO₂ Oxígeno: O₂</p> <p>Fig. 5.1</p>	 <p>Modelos espaciales del cloruro de sodio o sal común. Rojo: Cl⁻. Azul: Na⁺.</p>	<p>Fig. 6.4</p>
<p>Fig. 6.3</p>	<p>$Li + [: \ddot{F} :]^-$ Enlace iónico: Fluoruro de litio</p> <p>$:\ddot{O}::\ddot{O}:$ Enlace covalente apolar: oxígeno</p> <p>$:\ddot{H}:\ddot{O}:\ddot{H}$ Enlace covalente polar: agua</p>	<p>Fig. 6.3</p>	

ANEXO 2

Imágenes de libros de Polimodal con características icónicas diferentes.

Fig. 9.5	<p>Enlace covalente dativo</p>		Fig. 8.9
	$:\ddot{\text{Cl}}: + \cdot\ddot{\text{Cl}}: \longrightarrow :\ddot{\text{Cl}}:\ddot{\text{Cl}}:$		Fig. 7.5
Fig. 8.8		<p>Fig. 7.1</p>	Fig. 7.5
Fig. 8.1			
Fig. 9.1		Fig. 9.2	Fig. 10.3
Fig. 10.1	<p>Figura 4: Diagramas para NH₃</p>	Fig. 11.11	
Fig. 11.5		Fig. 11.6	Fig. 8.2
Fig. 8.4	<p>Fig. 8.5</p>		

Anexo 3

Resultados conjuntos de las categorías analizadas en las figuras de los libros de texto de EGB3

LIBRO	FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	ICONICIDAD	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
1	1.1	Definición	Dibujo figurativo	Sinóptica	Sin etiqueta
1	1.2	Definición	Dibujo figurativo + signos	Sinóptica	Sin etiqueta
2	2.1	Evocación	Dibujo figurativo	Sinóptica	Relacional
2	2.2	Descripción	Bolas	Connotativa	Nominativa
3	3.1	Evocación	Bolas	Denotativa	Sin etiqueta
3	3.2	Descripción	Bolas y varillas	Connotativa	Nominativa
4	4.1	Definición	Bolas	Denotativa	Nominativa
4	4.2	Definición	Dibujo figurativo	Denotativa	Nominativa
5	5.1	Descripción	Niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
5	5.2	Descripción	Niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
5	5.3	Descripción	Niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
5	5.4	Descripción	Dibujo figurativo + signos	Connotativa	Sin etiqueta
6	6.1	Definición	Lewis	Connotativa	Nominativa
6	6.2	Definición	Diagrama de rayas	Connotativa	Nominativa
6	6.3	Definición	Lewis	Connotativa	Nominativa
6	6.4	Aplicación	Bolas y varillas - Bolas	Connotativa	Nominativa

Anexo 4

Resultados conjuntos de las categorías analizadas en las figuras de los libros de texto de polimodal

LIBRO	FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	ICONICIDAD	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
7	7.1	Descripción	Niveles electrónicos	Denotativa	Nominativa
7	7.2	Descripción	Lewis	Denotativa	Sin etiqueta
7	7.3	Descripción	CLOA	Denotativa	Nominativa
7	7.4	Descripción	Lewis, rayas y molecular	Denotativa	Sin etiqueta
7	7.5	Descripción	Lewis, rayas y molecular	Denotativa	Nominativa
7	7.6	Aplicación	Lewis y rayas	Connotativa	Nominativa
8	8.1	Descripción	Niveles electrónicos	Denotativa	Nominativa
8	8.2	Descripción	Niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
8	8.3	Descripción	Niveles electrónicos	Denotativa	Nominativa
8	8.4	Descripción	Niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
8	8.5	Descripción	Niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
8	8.6	Aplicación	Lewis	Denotativa	Sin etiqueta
8	8.7	Aplicación	Lewis	Connotativa	Nominativa
8	8.8	Descripción	Bolas	Denotativa	Nominativa
8	8.9	Descripción	Lewis	Connotativa	Sin etiqueta
8	8.10	Aplicación	Lewis	Connotativa	Nominativa
8	8.11	Aplicación	Lewis	Connotativa	Nominativa
8	8.12	Descripción	Lewis	Sinóptica	Nominativa
8	8.13	Aplicación	Lewis	Connotativa	Nominativa
8	8.14	Definición	Dibujo figurativo + signos	Connotativa	Sin etiqueta
9	9.1	Descripción	CLOA	Connotativa	Sin etiqueta
9	9.2	Definición	OM	Connotativa	Sin etiqueta
9	9.3	Descripción	Lewis, niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
9	9.4	Definición	Lewis, niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
9	9.5	Definición	Lewis, niveles electrónicos	Connotativa	Nominativa
9	9.6	Aplicación	Bolas	Connotativa	Nominativa
10	10.1	Descripción	Lewis, rayas y fusionado	Connotativa	Nominativa
10	10.2	Descripción	Lewis, rayas y fusionado	Connotativa	Nominativa
10	10.3	Aplicación	Lewis, rayas y cuñas	Denotativa	Nominativa
10	10.4	Definición	Lewis, rayas y fusionado	Denotativa	Sin etiqueta
10	10.5	Definición	Lewis, rayas y fusionado	Denotativa	Sin etiqueta
10	10.6	Descripción	Lewis y fusionado	Denotativa	Nominativa
10	10.7	Aplicación	Lewis, rayas y fusionado	Connotativa	Nominativa
10	10.8	Descripción	Lewis	Denotativa	Nominativa

(continuación...)

LIBRO	FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	ICONICIDAD	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
11	11.1	Descripción	Lewis	Sinóptica	Sin etiqueta
11	11.2	Descripción	Lewis y Molecular	Connotativa	Sin etiqueta
11	11.3	Definición	Rayas	Denotativa	Sin etiqueta
11	11.4	Descripción	Lewis	Sinóptica	Sin etiqueta
11	11.5	Descripción	Lewis y Molecular	Connotativa	Sin etiqueta
11	11.6	Definición	Rayas	Denotativa	Sin etiqueta
11	11.7	Aplicación	Lewis, Rayas y Molecular	Denotativa	Sin etiqueta
11	11.8	Descripción	Lewis	Connotativa	Sin etiqueta
11	11.9	Descripción	Lewis	Sinóptica	Sin etiqueta
11	11.10	Descripción	Lewis	Denotativa	Sin etiqueta
11	11.11	Descripción	Bolas y varillas	Connotativa	Relacional
11	11.12	Descripción	Bolas y varillas	Denotativa	Nominativa
11	11.13	Descripción	Lewis	Denotativa	Sin etiqueta
11	11.14	Descripción	Lewis	Denotativa	Sin etiqueta
11	11.15	Definición	Lewis	Connotativa	Nominativa
11	11.16	Definición	Lewis	Connotativa	Nominativa
11	11.17	Descripción	Dibujo figurativo + signos	Denotativa	Nominativa
11	11.18	Descripción	Dibujo figurativo + signos	Connotativa	Sin etiqueta
11	11.19	Descripción	Dibujo figurativo	Denotativa	Nominativa
12	12.1	Descripción y aplicación	Niveles electrónicos y Lewis	Denotativa	Nominativa
12	12.2	Definición	Lewis	Connotativa	Nominativa
12	12.3	Descripción	Bolas y varillas	Connotativa	Nominativa
12	12.4	Descripción	Dibujo figurativo + signos	Connotativa	Nominativa
12	12.5	Aplicación	Lewis	Denotativa	Nominativa
12	12.6	Definición	Lewis	Denotativa	Relacional
12	12.7	Descripción	Rayas	Denotativa	Sin etiqueta
12	12.8	Aplicación	Molecular, Lewis y rayas	Connotativa	Nominativa

Analysis of Chemical Bond Images Used in High School Textbooks Based on the Results of Educational Research

MATUS LEITES, LILIANA¹, BENARROCH BENARROCH, ALICIA² y PERALES PALACIOS, FRANCISCO JAVIER³

¹ Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan, Argentina

² Facultad de Educación y Humanidades de Melilla. Universidad de Granada, España

³ Facultad de Ciencias de la Educación de Granada. Universidad de Granada, España

matusliliana@yahoo.com.ar

aliciabb@ugr.es

fperales@ugr.es

Abstract

Traditionally, symbolic representations, particle diagrams, chemical formulas and equations, etc. have been used in chemistry to help students understand the models of matter. Thus, images in chemistry play an important role in the visualization of invisible entities and, at the same time, they themselves are taught since learning them implies learning the language that chemists use to interpret Nature.

Learning images requires linguistic competence which is different from that required to learn texts and, as Guevara and Valdez (2004) point out, little is known about how the student's mental representation interacts with the different models shown by teachers and with the didactic resources used.

Starting with these facts, among others, in this paper we try to:

- a) Inquire into the bibliography of works on illustrations in chemistry teaching-learning.
- b) Apply or adapt tools to classify chemical bond images in a sample of EGB3 and upper secondary school Argentinean textbooks (see table 1) written for students aged 12-14 and 15-17 years old, respectively.
- c) Identify, if possible, the criteria which make it so that the types of images used at both educational levels are different.

The review of the bibliography has been done from a triple perspective, that is, the use of images in the classroom in general, the use of images in chemistry teaching-learning, and research into the different categories classifying textbook illustrations. After that review, we select Perales's and Jimenez taxonomy (2002) to analyse the chemical bond images, although this topic has some characteristics which are different from the content for which this taxonomy was designed. The taxonomy includes five categories. To analyse the chemical bond images by using this taxonomy, some of the categories, such as the *degree of iconicity*, had to be adapted.

All 78 images, 16 at the EGB3 level and 62 at the upper secondary school level, in a sample of 12 textbooks were analysed.

From the results obtained, in spite of the distribution of

typologies of representation both at the EGB3 and upper secondary school levels, there was a clear general trend (70 percent) to show *figurative images* or *ball models* in EGB3, while *Lewis' lines* or *electronic levels models* were chosen for upper secondary school students. That is, for students up to 12 years old, textbook authors choose to show the concepts of chemical reaction or substance through models evoking reality or which try to simulate it (graphic models, to use Galagovsky's terminology, 2004). Nevertheless, for students up to 15 years old, authors more frequently choose models demanding an understanding of the electronic configuration of atoms or which are more abstract and conceptually complex (formal models).

With regards to the *function of the didactic sequence* where the illustrations appear, the descriptive function is the most common one, thus we can deduce an expositive, apolemic discourse which reflects an absolute conception of Science.

With regards to the *relationship of the image to the main text*, the images which have a connotative relationship are the most common ones. This means that the contents are described without explaining their correspondence to the elements included in the illustration, and therefore, that relationship has to be established by the reader.

Finally, in the *verbal labels* category, the most frequent figures use letters or words to identify some elements in the image.

These results reveal the most common criteria used by textbook authors, but do not clarify their suitability. So we must ask ourselves the following question: Is the criteria used for 70 percent of the images useful or should we pay greater attention to the remaining 30 per cent?

GALAGOVSKY, L. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: Derivaciones comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), pp. 349-365

GUEVARA, M. y VALDEZ, R. (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. *Revista Educación Química*, 15(3), pp. 243-247.

PERALES, F.J. y JIMÉNEZ, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de textos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 369-386

