

La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos

Liliana Matus¹, Alicia Benarroch² y Nora Nappa¹

¹Universidad Nacional de San Juan, Argentina E-mails: matusliliana@yahoo.com.ar y noranappa@yahoo.com.ar. ²Universidad de Granada, España. E-mail: aliciabb@ugr.es

Resumen: Las representaciones e imágenes usadas para la enseñanza del enlace químico son, además de medios importantes para el aprendizaje de la Química, fines de su enseñanza, pues aprenderlas implica formar parte de los lenguajes que los químicos utilizan en sus interpretaciones. Estas representaciones fueron analizadas teniendo en cuenta tres criterios: a) su grado de iconicidad, usando la clasificación de Perales y Jiménez (2004); b) el lenguaje involucrado, usando la clasificación de Galagovsky (2004); y c) el modelo atómico exigido para su comprensión (Matus y otros, 2008). La muestra estratificada estuvo constituida por 18 libros de texto de los niveles de enseñanza de la Educación Argentina correspondientes a 12, 15 y 18 años. En total, se identificaron 210 imágenes que fueron analizadas. A pesar de la gran diversidad de resultados, se pueden trazar unas tendencias generales que son objeto de discusión.

Palabras clave: enlace químico, representaciones químicas, modelos atómicos, lenguaje químico.

Title: Modelling the chemical bonding in textbooks of different educational levels.

Abstract: The representations and illustrations that are used to teach the topic of chemical bonding, besides being important means for learning Chemistry, they are also teaching aims because learning them implies understanding the languages that chemists use in their interpretations. This work aims at analysing these representations according to three criteria: a) their level of iconicity, by using the classification of Perales and Jiménez (2004); b) the language involved, by using the classification of Galagovsky (2004); and c) the atomic model needed for their comprehension (Matus y otros, 2008). The stratified sample was constituted by 18 textbooks used in the teaching of 12, 15 and 18 years old students of the Argentinian Educational System. 210 images were identified and analysed. The findings show that some general tendencies, which are the object of discussion, can be drawn in spite of the great diversity of results.

Keywords: chemical bonding, chemicals representations, atomic models, chemical language.

Introducción

El desarrollo del conocimiento científico en general y en Química en particular, como también su enseñanza ha estado signado y caracterizado

por el uso de modelos, entendiendo éstos como un instrumento o construcción imaginaria, provisoria y perfectible (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001) que representa a un objeto, sistema o proceso.

En el ámbito de la Química, los modelos de enlace entre átomos constituyen un conocimiento básico para que los alumnos comprendan y expliquen la dependencia de las propiedades físicas y químicas de las sustancias y la forma en la que se unen las partículas, así como la importancia que tiene esto en la síntesis de nuevos compuestos y su incidencia en la mejora de la calidad de vida (Zamora y otros, 2000). En los libros de texto de Química son frecuentes las representaciones concretas, que son imágenes asociadas a algún modelo científico en particular; pueden ser dibujos, proyecciones bidimensionales u objetos tridimensionales. El referente de este tipo de representación es el propio modelo científico, que es transformado mediante artificios pictóricos, que permiten la simplificación del concepto más complejo (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Ejemplos de estas representaciones concretas serían, por ejemplo, el dibujo de un orbital, el modelo molecular de bolas y varillas y una maqueta de una molécula hecha a escala con los volúmenes de sus átomos constituyentes.

Las representaciones e imágenes usadas para la enseñanza del enlace químico son, además de medios importantes para el aprendizaje de la Química, fines de su enseñanza, pues aprenderlas implica formar parte de los lenguajes que los químicos utilizan en sus interpretaciones. Las múltiples formas en que las uniones químicas se pueden representar y la falta de profundización en las mismas es uno de los motivos determinantes de las dificultades de los estudiantes hacia esta materia (Treagust y otros, 2000; Galagovsky y Bekerman, 2009).

En este trabajo, se realiza un análisis de las representaciones o imágenes usadas en los libros de texto de 12, 15 y 18 años, atendiendo a tres criterios: a) el modelo atómico exigido para su comprensión (Matus y otros, 2008); b) su grado de iconicidad, usando la clasificación de Perales y Jiménez (2004); y c) el lenguaje involucrado, usando la clasificación de Galagovsky (2004).

Pretendemos, con los resultados extraídos, identificar las principales tendencias conceptuales, icónicas y lingüísticas defendidas por los autores de los libros de texto, y, por extensión, en la enseñanza de este contenido, a sabiendas de la importancia que los libros de texto tienen sobre las decisiones curriculares, contenidos y actividades que desarrolla el profesorado en sus aulas.

Modelos atómicos y las representaciones asociadas en su enseñanza. Una propuesta de clasificación

Algunos autores consideran que los modelos deben ser las herramientas más importantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje como así también un medio para mejorar la formación científica de los alumnos (Harrison y Treagust, 1996; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Coll, France y Taylor, 2005). Al respecto, Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) indican que hablar con el lenguaje y las representaciones propias de la ciencia escolar

sería un paso *necesario* en el camino hacia aprender la ciencia de los científicos y Justi (2010) considera que la formación en química de los futuros profesores no debe estar focalizada únicamente en el aprendizaje de los modelos sino también en el mismo proceso de modelización y su importancia en la enseñanza de la ciencia. Aprender sobre modelos, aprender a modelizar y aprender modelizando se ha convertido en objetivo y procedimiento de una educación científica más auténtica.

El concepto de modelo es polisémico. Su significado puede variar desde "ejemplo o prototipo de algo" a "representación concreta de alguna cosa". Ampliando más esta última acepción, el punto de vista más aceptado actualmente es que un *modelo* es una representación de una idea, objeto, fenómeno o sistema, basado en analogías, que se construye en un contexto determinado con un objetivo específico (Chamizo, 2010; Justi, 2006). En esta definición, es necesario hacer algunas consideraciones:

1. Como han destacado Morrison y Morgan (1999), la palabra representación no se usa solamente en aquellos casos en los que exista un tipo de exhibición de aspectos visuales de la entidad modelada, sino también como un mecanismo capaz de "abstraer de" y "traducir de otra forma" la naturaleza de esa entidad.
2. Por otra parte, según la analogía realizada, se podría distinguir entre modelos mentales, materiales y matemáticos. A diferencia de los primeros, los materiales y matemáticos son modelos expresados mediante un lenguaje (icónico, químico, matemático, simbólico, etc) para comunicarse con otros individuos. Tomasi (1999) clasifica estos modelos materiales y matemáticos en tres tipos: icónicos, analógicos y simbólicos. Los modelos icónicos guardan similitud con el referente; un ejemplo de éstos es el modelo de esferas y varillas que se utiliza para modelizar los enlaces entre los átomos que forman una molécula. Los modelos analógicos, por su parte, conservan algunos aspectos de la forma del referente pero ponen énfasis en los aspectos funcionales, tal es el caso del modelo molecular de masas y resortes usado en el estudio de las vibraciones de los enlaces. Por último, los modelos simbólicos descuidan la analogía de forma con el referente y sólo se basan en la analogía de función; un ejemplo lo constituyen las fórmulas químicas y las fórmulas matemáticas.
3. Según el contexto, se puede distinguir entre modelos didácticos y científicos. Los primeros hacen referencia, en general, a la variedad de representaciones que se usan en el ámbito de la enseñanza. Son, en general, simplificaciones de los modelos científicos, realizados mediante la transposición didáctica, y, entre ellos, cabe distinguir entre modelos curriculares y modelos para la enseñanza (Justi, 2006), siendo estos últimos a su vez representaciones creadas con el objetivo específico de ayudar a los alumnos a aprender algún aspecto de un modelo curricular. Los modelos para la enseñanza más comunes son dibujos, maquetas, simulaciones y analogías.
4. Por último, en cuanto a su función, Guevara y Valdez (2004) nos dicen que "la función de un modelo es facilitar la visualización y/o comprensión conceptual del objeto modelado y además permitir un tratamiento cuantitativo, el cual conlleva una adecuada interpretación

y, en el peor de los casos, constituye una primera aproximación al comportamiento del objeto que el modelo representa. Asimismo, un modelo apropiado debe poder ser refinado conduciendo así a la comprensión más clara y profunda del sistema real". En este sentido, la validez de un modelo, siguiendo criterios racionales, depende de su coherencia interna y de su simplicidad (cualidades sintácticas) pero también de su poder explicativo y predictivo (cualidades semánticas) (Delattre, 1979; Walliser, 1977, citados por Barboux y otros, 1987). Por tanto, un modelo es tanto mejor cuanto más extenso sea su dominio de validez, es decir, cuando permite explicar, de la forma más simple posible, un conjunto más amplio de fenómenos.

Este artículo se ocupa de los modelos atómicos y de los recursos icónicos que se suelen usar en los libros de texto y en su enseñanza. Usando la terminología de Tomasi (1999), estamos tratando de modelos materiales y matemáticos utilizados en el contexto de la enseñanza-aprendizaje de la química para explicar y predecir el comportamiento de las sustancias químicas. La introducción de los modelos matemáticos en la química se da a partir de los trabajos del grupo de Manchester, liderado por el profesor Thomson, a partir de la explicación dada a los experimentos con los tubos de descarga, la reconsideración de las leyes electroquímicas de Faraday y el fenómeno de la radiactividad. La consecuencia fue el abandono definitivo del modelo icónico de Dalton. Los desarrollos posteriores que condujeron a la mecánica de matrices de Heisenberg, la cuantificación de la energía por Planck y la mecánica ondulatoria de Schrödinger, fueron la base para nuevas explicaciones del enlace químico: el enlace de valencia y el del orbital molecular (Urbina y otros, 2008).

Por otro lado, y como señala Justi (2006), en la enseñanza de los modelos atómicos se puede distinguir entre *modelos curriculares atómicos*, y las imágenes o representaciones concretas que son a su vez simplificaciones de aquéllos, y por tanto *modelos para su enseñanza*, pues son utilizadas por los profesores de química para comunicar los rasgos distintivos de los modelos curriculares que los sustentan. En adelante, a los primeros les llamaremos *modelos atómicos*, a secas, mientras que los segundos serán identificados como sus *representaciones o imágenes*.

La tabla 1 muestra la asociación propuesta entre las representaciones utilizadas en la enseñanza de la química y los modelos atómicos de menor nivel que se requeriría para una mínima comprensión –y en muchos casos distorsionada- de dichas representaciones. Es conveniente insistir en que esta tabla carece de significado histórico pues en ella no se ha intentado ser fiel a las imágenes que fueron usadas a lo largo del desarrollo histórico de los modelos atómicos, aunque tampoco lo contradice (ver una síntesis de las principales claves de este desarrollo histórico en Urbina y otros, 2008). Tampoco tiene significado didáctico, pues no pretende mostrar una secuencia para su enseñanza. Su única intención es la de poder analizar, desde el punto de vista cognitivo, cuál puede ser el modelo atómico que un estudiante de cualquier edad requiere tener asimilado para una mínima comprensión de las imágenes que aparecen en los libros de texto. Estos requisitos no son siempre explícitos en los propios libros de texto, y, en consecuencia, en ellos aparecen imágenes, figuras y representaciones

pictóricas para describir la estructura interna de sustancias, sin hacer alusión al modelo atómico que se requiere para su comprensión.

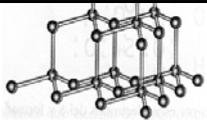
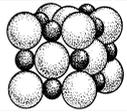
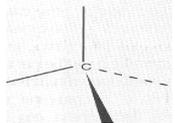
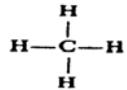
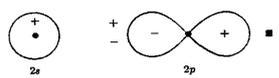
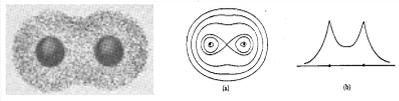
Modelos atómicos	Dominios de validez	Representaciones concretas de enlaces químicos	Ejemplos de representaciones concretas		
(1) Modelo atómico-molecular (sin constitución interna del átomo)	a. Distinción de elementos y compuestos b. Cambios químicos como reorganización de átomos	Bolas y varillas			
		Fusionado			
		Bolas			
		Varillas			
(2) Modelos de Rutherford-Bohr-Sommerfeld (con constitución interna del átomo)	a. Fenómenos de electrización y de electrolisis b. Fenómenos nucleares c. Explicación de propiedades de sustancias y sus transformaciones d. Espectros de emisión del Hidrogeno e. Efecto fotoeléctrico f. Estructura fina del espectro del Hidrógeno	Cuñas			
		Lewis			
		Diagrama de rayas			
		Niveles electrónicos			
		(3) Modelos ondulatorios	a. Espectros atómicos de elevada resolución (efecto Zeeman, etc.) b. Enlace covalente (Geometría molecular)	CLOA	
				OM	
(4) No se asocia a ningún modelo atómico		Molecular	H ₂ O		

Tabla 1.- Relación entre modelos atómicos, sus dominios de validez, representaciones concretas y algunos ejemplos extraídos de libros de texto.

En la tabla 1, se entiende por:

a) modelo atómico-molecular el que únicamente requiere conceptualizar átomos y moléculas como partículas constituyentes de la materia. La característica particular del mismo es la descripción a nivel atómico de los sistemas moleculares; el menor nivel de información es por tanto el formado por los átomos individuales (o un pequeño grupo de átomos)

implementado, en algunos casos, por su afinidad con otros átomos. Es un modelo suficiente para explicar la distinción entre elementos y compuestos, ya que al representar un elemento químico, se utilizan átomos iguales que forman moléculas o macromoléculas, mientras que al representar un compuesto químico, se utilizan átomos diferentes entre sí. Con este modelo también se pueden explicar los cambios químicos como una reorganización de los átomos de los reactivos, que aparecen en igual naturaleza y número que los de los productos.

Algunas representaciones concretas que pueden interpretarse –aun con limitaciones- bajo este modelo son las de bolas y varillas; fusionado o de empaquetamiento; bolas; y, por último, varillas. A nivel científico, cada una de ellas tiene su utilidad y su propio significado, sus ventajas e inconvenientes (Nappa, 2002), pero se caracterizan porque, en una primera aproximación, pueden ser comprendidas utilizando únicamente los conceptos de átomo y molécula, sin necesidad de considerar la existencia de los electrones. La mínima comprensión de las mismas requiere que el estudiante tenga que realizar mentalmente la asociación de cada esfera distinta a una clase de átomos y la de esferas diferentes a átomos diferentes.

Así, por ejemplo, una imagen de *bolas y varillas* es una representación tridimensional en la cual se simbolizan los átomos mediante bolas y las uniones o enlaces entre los mismos con varillas; bajo el modelo atómico-molecular, las varillas no tienen significado electrónico, sino el de expresar las afinidades del átomo central.

Por su parte en la representación denominada *fusionado o de empaquetamiento*, se simboliza cada átomo como una esfera y esto mismo ocurre con el modelo de bolas.

La representación que usa exclusivamente *varillas*, también es una representación tridimensional y, a diferencia de las anteriores, no se indican los átomos, sino las uniones entre los mismos. Bajo el modelo atómico-molecular, estas uniones, al igual que en el modelo de bolas y varillas, carecen de significado electrónico, y tendrían únicamente el significado simbólico de afinidad entre átomos. La figura representada podría servir por ejemplo, para mostrar a un estudiante cómo es la molécula de metano, y la tetravalencia del carbono que le lleva a estar unido a cuatro átomos de hidrógeno.

Los análogos científicos de este modelo son el modelo atómico de Dalton apuntalado con el concepto de afinidad entre átomos al que dio origen la hipótesis de Avogadro. Sus representaciones llegaron a desarrollarse entre 1807 y 1860, y dieron lugar a una reformulación paulatina del modelo icónico inicial de Dalton.

b) Modelos de Rutherford-Bohr-Sommerfeld, como los que tienen en común que requieren la consideración de la constitución interna del átomo; si bien cada uno tiene sus particularidades, todos contemplan que el átomo está formado por un núcleo con partículas positivas y electrones que se ubican en órbitas externas al núcleo. A partir de estos modelos pueden explicarse los fenómenos de electrización y de electrólisis, algunos fenómenos nucleares, las propiedades de las sustancias y de sus

transformaciones, los espectros de emisión del hidrógeno y su estructura fina y el efecto fotoeléctrico.

Las representaciones concretas que pueden asociarse a estos modelos corresponden a cuñas, Lewis, diagrama de rayas y niveles electrónicos. Lo que caracteriza a estas representaciones, respecto de las superiores, es que requieren para su comprensión tomar en consideración la estructura interna del átomo o, al menos, de los electrones de la última órbita o capa de valencia. Los enlaces químicos, en estos modelos, se producen por la intervención de dichos electrones.

La representación de *Cuñas* es tridimensional. En ella se indican los símbolos de los elementos y los enlaces que están en el plano del papel, hacia delante y hacia atrás del mismo. Fue propuesta por Lewis en 1916 para compaginar su modelo con la naturaleza tetraédrica del carbono, ya postulado por Kekulé en 1857.

En la representación de *Lewis* y sus conocidos diagramas o estructuras de puntos, cada dos electrones ubicados entre dos átomos corresponden a un enlace sencillo. En sus análogos *diagramas de rayas*, en los que cada raya simboliza el par de electrones del enlace, se muestran muy bien la multiplicidad del enlace (simple, doble, triple).

Por su parte, en las representaciones de *niveles electrónicos* se conceptualizan los átomos según el modelo atómico de Bohr, con el núcleo y los electrones alrededor distribuidos según el nivel de energía. A diferencia de las representaciones anteriores, en este caso es necesario identificar todos los electrones constituyentes del átomo. Esta representación es, como veremos, muy frecuente en los libros de secundaria.

Desde la perspectiva científica, estos modelos arrancan de las investigaciones que los físicos realizaron a principios del siglo XX relacionados con la existencia del electrón en los tubos de descarga y la interpretación de los resultados electroquímicos de Faraday, por los que el modelo atómico de Dalton comenzó a ser desplazado por las elaboraciones de los físicos. El primer modelo atómico propuesto para dar sentido a estas investigaciones fue el de Thomson (1904) que propuso un modelo de átomo, el del pudín con pasas, que su equipo de trabajo buscó contrastar empíricamente con el experimento de la dispersión de partículas alfa, realizado por Geiger y Marsden (1909; 1913). Los resultados demostraron que este modelo era inconsistente. El análisis matemático que hizo Rutherford (1911) de esta dispersión le permitió proponer el modelo nuclear, el cual a su vez fue sustituido por el semicuántico de Bohr (1913) ampliado posteriormente por Sommerfeld (1916). Comienza a hacer carrera la idea de que la "compartición de electrones" por dos átomos es la que produce la unión entre ellos (Urbina y otros, 2008).

c) Modelos ondulatorios, son los que derivan de la mecánica cuántica y ondulatoria, permiten explicar los espectros atómicos de elevada resolución (efecto Zeeman), el enlace covalente y la geometría molecular de las estructuras. Hacen referencia a núcleos, electrones y orbitales atómicos y moleculares y permiten justificar ángulos de enlace y propiedades que derivan de la geometría de la molécula (polaridad, acidez, basicidad, etc.).

Las representaciones que tienen como referencia los modelos ondulatorios del átomo son las denominadas *CLOA* (combinación lineal de orbitales moleculares) y *OM* (orbitales moleculares). La única diferencia entre ellas es que en la representación *CLOA* se indican únicamente los orbitales atómicos de partida, y, por tanto, no contiene el enlace químico como una nueva entidad formada; cada átomo mantiene su individualidad, mientras que en la de *OM*, no se delimitan los orbitales atómicos que dan origen al enlace, sino el orbital formado que pertenece a los dos átomos en su conjunto.

Por último, la representación molecular indica en un lenguaje simbólico (Tomasi, 1999) y/o conceptual (Bruner, 1967, citado en Chamizo, 2006) la clase y número de átomos que forman una molécula, pero no hay ninguna referencia acerca de la distribución y de los enlaces de los mismos. No subyace a ella ningún tipo de modelo atómico.

La asociación establecida en la tabla 1 permite identificar el contenido científico que sustenta a las imágenes utilizadas en la enseñanza del enlace químico. En nuestro caso, veremos que ha sido utilizada como uno de los criterios clasificatorios en el análisis de las imágenes de los libros de texto que se presenta en este trabajo.

Otros criterios de clasificación de imágenes sobre enlace químico

Las representaciones que utiliza la Química pueden ser clasificadas en tres niveles, que se corresponden con respectivos grados de pensamiento, a saber: macroscópico, microscópico (submicroscópico, según Johnstone, 1982, 1991, citado en Galagovsky y otros, 2003, Han y Roth, 2005) y simbólico (Gabel, 1998; Gabel y otros, 1987; citados en Wu y Shah, 2004). En el nivel macroscópico, las representaciones químicas se refieren a dibujos, esquemas o diagramas que representan el fenómeno observable. Los experimentos, las experiencias, y todos los sistemas materiales que manipulamos, podemos caracterizarlos mediante descripciones sensoriales que aportan información a este nivel (Galagovsky y otros, 2003). Las representaciones submicroscópicas se refieren a modelos que representan los arreglos y movimientos de las partículas (átomos y moléculas, representados por esferas y varillas). Las representaciones en el nivel simbólico, incluyen las formas de expresar conceptos químicos tales como fórmulas, ecuaciones químicas, símbolos y signos utilizados para representar átomos, moléculas, procesos químicos y estructuras (Galagovsky y otros, 2003; Wu y Shah, 2004; Han y Roth, 2005). Este trabajo está referido a los dos últimos tipos de representaciones, esto es, a las microscópicas y simbólicas.

Las representaciones microscópicas y simbólicas en Ciencias pueden ser, a su vez, diferenciadas según su *grado de iconicidad*, que establece el grado de realismo o de simbolización de las ilustraciones. Así, las imágenes de menor grado de iconicidad (las menos realistas) exigirán un mayor conocimiento del código simbólico utilizado (Perales y Jiménez, 2002). Cuanto más abstracta sea la imagen es menos icónica. Perales y Jiménez (2004) proponen una clasificación del grado de iconicidad de las ilustraciones presentes en los libros de texto surgidos a partir de la reforma educativa de principios de siglo y, en concreto, de los temas que abordan la mecánica elemental, que se extiende desde la fotografía (mayor iconicidad)

a la descripción en signos normalizados (menor iconicidad). Una descripción más detallada de esta taxonomía se muestra en la tabla 2.

Grado de iconicidad	Descripción
Fotografía	
Dibujo figurativo	Prima la representación orgánica, mostrando los objetos mediante la imitación de la realidad.
Dibujo figurativo más signos	Representan acciones o magnitudes inobservables en un espacio de representación heterogéneo.
Dibujo figurativo más signos normalizados	Es una variante de la categoría anterior que incluye aquéllas ilustraciones en las que se representa figurativamente una situación y a su lado se representan algunos aspectos relevantes mediante signos normalizados.
Dibujo esquemático	Prima la representación de las relaciones prescindiendo de los detalles.
Dibujo esquemático más signos	Representan acciones o magnitudes inobservables.
Descripción en signos normalizados	Constituye un espacio de representación homogéneo y simbólico que posee reglas sintácticas específicas.

Tabla 2.- Grado de Iconicidad propuesto por Perales y Jiménez (2004).

Profundizando sobre *el tipo de lenguaje* que subyace a estas representaciones propias de la Química, se encuentran algunos estudios que tratan de clarificar o diferenciar los códigos involucrados. Para Galagovsky (2004), no todas las representaciones químicas hacen uso del mismo lenguaje. La autora distingue entre *lenguaje gráfico* y *lenguaje formal*.

Lenguaje gráfico. Las representaciones que hacen uso del lenguaje gráfico intentan mostrar en forma más concreta los aspectos o atributos que se desean destacar en el referente, por ejemplo cuando se usa el modelo de cuñas para representar un compuesto químico, se hace referencia explícita a la longitud y ángulos de enlace entre átomos y a la distribución espacial de ellos, lo cual permite dar explicaciones y hacer predicciones sobre ciertas propiedades que derivan de dicha distribución.

Lenguaje formal. Implica la utilización de códigos y símbolos que no poseen tanta similitud o analogía con el referente representado. Por el contrario es un lenguaje altamente simbólico en el cual cada símbolo tiene un significado propio y particular y la asociación de ellos cumple con reglas semánticas preestablecidas. Para comprender el lenguaje formal se deben conocer los códigos consensuados, por ejemplo, para la fórmula molecular de agua H_2O se debe saber que H y O son los símbolos químicos de dos elementos químicos, que el subíndice indica atomicidad doble para el hidrógeno y simple para el oxígeno, y que es la proporción estequiométrica para una cantidad cualquiera de agua químicamente pura (Galagovsky, 2004).

En la tabla 3 se muestra la clasificación de las representaciones de los libros de texto sobre enlaces químicos, según el grado de iconicidad

(Perales y Jiménez, 2004) y según el tipo de lenguaje involucrado (Galagovsky, 2004). Esta tabla complementa la tabla 1, donde se encuentran clasificadas según el tipo de modelo atómico que es suficiente para una primera comprensión de las mismas.

Explicaremos a continuación la tabla 3. Los grados de iconicidad a los que se han asociado las representaciones de los libros de texto son:

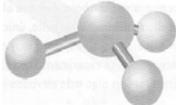
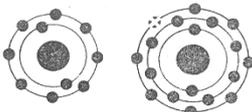
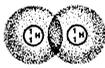
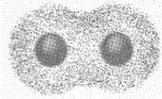
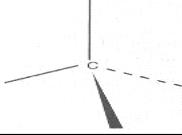
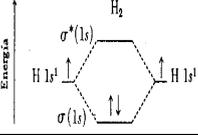
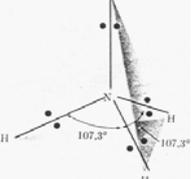
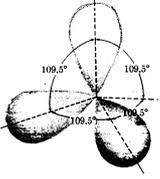
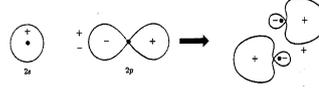
Grado de iconicidad	Representaciones concretas			Lenguaje
Dibujo figurativo	Bolas y varillas 	Fusionado 	Bolas 	Gráfico
	Varillas 	Otros 		Gráfico
Dibujo figurativo más signos	Niveles electrónicos 			Formal
	Otros 			Gráfico
Dibujo esquemático más signos	CLOA 	OM 		Gráfico y Formal
	Cuñas 	Otros 		Gráfico y Formal
				
Descripción en signos normalizados	Lewis $\text{Na}^+ [: \ddot{\text{Cl}} :]^-$			Formal
	Diagrama de rayas H-H			Formal
	Molecular H ₂ O			Formal

Tabla 3.- Clasificación de representaciones de enlaces químicos encontrados en libros de texto según grado de iconicidad y tipo de lenguaje.

a) *Dibujo figurativo*, donde prima la representación orgánica, mostrando los objetos mediante la imitación de la realidad (Perales y Jiménez, 2004), en este caso se indican simplemente diferentes entidades unidas entre sí, lo cual remite a la idea de "unión", aunque esto está muy alejado del concepto de unión química. De esta manera, se recurre a la analogía, mediante evocaciones de hechos conocidos estableciéndose una comparación entre elementos de un dominio base (conocido y concreto) y un dominio destino (abstracto). Así el alumno puede visualizar en un plano concreto conceptos abstractos, como el de molécula o enlace químico. Este tipo de modelos o imágenes pueden inducir a 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.

b) *Dibujo figurativo más signos*, representan acciones o magnitudes inobservables en un espacio de representación heterogéneo. Tal es el ejemplo en que se representa el núcleo de un átomo con círculos, con sus electrones "en movimiento" o los electrones en órbitas concéntricas al núcleo.

c) *Dibujo esquemático más signos*, representan acciones o magnitudes inobservables, por ejemplo la energía de los orbitales. Es el caso de la representación de la energía de los electrones de orbitales enlazantes y antienlazantes, con la correspondiente distribución de electrones. La interpretación de este tipo de modelos requiere el manejo de lenguaje formal y un importante número de conceptos abstractos por parte del lector.

d) *Descripción en signos normalizados*, constituye un espacio de representación homogéneo y simbólico que posee reglas sintácticas específicas. Por ejemplo, las representaciones de rayas o moleculares, son altamente simbólicas y para interpretarlas se deben conocer las reglas que norman su construcción.

Hay que destacar que la identificación de la categoría del grado de iconicidad de las imágenes de los libros de texto fue uno de los aspectos que más conflicto originó entre las autoras de esta investigación. En los libros de texto más básicos son frecuentes las imágenes en las que priman la representación orgánica y en las que se muestran los objetos mediante la imitación de la realidad. Responden a la categoría de *dibujos figurativos*, tal es el caso de la imagen de dos clips enlazados para representar una molécula por ejemplo de hidrógeno. Así mismo, representaciones moleculares tales como, modelos de bolas, varillas, bolas y varillas y fusionado, también pueden incluirse en esta categoría, ya que las entidades son representadas mediante objetos reales (bolas, varillas).

Pero la problemática mayor se presentó a la hora de clasificar los otros modelos: niveles electrónicos, Lewis, diagrama de rayas, CLOA, OM, cuñas y las fórmulas moleculares. Estas representaciones podrían encajar como *dibujos figurativos más signos*, *dibujos esquemáticos más signos* o bien como *descripciones en signos normalizados*, al constituir espacios de representación homogéneos y simbólicos que poseen reglas sintácticas específicas. Finalmente, optamos por considerar:

1. En el primer grupo, esto es, como *dibujos figurativos más signos*, al modelo clásico del mar de electrones para representar al enlace metálico, ya que mediante esferas se representan a los núcleos atómicos y otras esferitas o puntitos tratan de simbolizar las cargas eléctricas negativas. Por similares motivos, se optó por incluir en este grupo a las redes iónicas y las representaciones denominadas de niveles electrónicos, ya que sus entidades (partículas que constituyen el átomo) son representadas mediante bolas.

2. En el segundo grupo, de *dibujos esquemático más signos*, se incluyeron los modelos de cuñas, orbitales atómicos y orbitales moleculares, ya que incluyen acciones o magnitudes inobservables, como por ejemplo las relacionadas con cuestiones energéticas.

3. Por último, en el grupo de *descripciones en signos normalizados*, se incluyeron las representaciones de Lewis, diagramas de rayas y moleculares.

En cuanto al tipo de lenguaje utilizado en las grafías del enlace químico, se puede ver en la tabla 3 que las representaciones tales como las de bolas y varillas, modelo fusionado, de bolas, y las de varillas han sido asociadas al lenguaje gráfico, ya que, en ellas, las esferas se asimilan a átomos y las varillas simbolizan enlaces. Para interpretar este lenguaje, es necesario contar con ciertos conocimientos sobre los códigos utilizados, a fin de comprender lo que se está representando. Así, por ejemplo, como lo indica Galagovsky (2004), un modelo de bolas para representar la molécula de agua implica los siguientes conocimientos necesarios para comprender las limitaciones del lenguaje y poder llegar a construir un modelo mental más científico de la estructura molecular del agua:

1. Las esferitas sólidas poseen volúmenes atómicos que no se corresponden con las distribuciones de masa, y los colores utilizados son, obviamente, arbitrarios.
2. El ángulo formado por los átomos es de $104,5^\circ$, lo cual permite explicar el momento bipolar de la molécula y por tanto sus propiedades características.

Por su parte, las representaciones de Lewis, los diagramas de rayas, las fórmulas moleculares y las de niveles electrónicos, han sido asociadas al lenguaje formal ya que requieren del uso de códigos o convenciones que se alejan de situaciones análogas conocidas por los estudiantes y no hacen referencia a objetivos concretos. En el caso de la representación de Lewis para la molécula de agua, implica la utilización de un lenguaje formal cuyos códigos podrían enunciarse de la siguiente manera (Galagovsky, 2004):

1. 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.
2. Se utilizan segmentos como nexo entre letras para representar las uniones químicas no iónicas entre los átomos.

Las restantes representaciones hacen uso de elementos gráficos y formales, por lo que tienen un lenguaje que mezcla ambos tipos de códigos.

Metodología

A fin de realizar este trabajo se seleccionaron tres grupos de libros de textos de química correspondientes a tres niveles educativos diferentes: nivel EGB 3 (12 años), nivel Polimodal (15 años) y nivel universitario (18 años). Los textos analizados constituyen la bibliografía más utilizada por los docentes y alumnos del sistema educativo argentino.

Los criterios de clasificación utilizados han sido, como se ha podido ver en los apartados anteriores: a) el grado de iconicidad, usando la clasificación de Perales y Jiménez (2004); b) el lenguaje involucrado, usando la clasificación de Galagovsky (2004); y c) el modelo atómico exigido para su comprensión.

Las categorías de análisis del grado de iconicidad y del tipo de lenguaje involucrado se detallan en la tabla 3; las categorías de análisis del modelo atómico necesario para la comprensión de la imagen se muestran en la tabla 1.

Resultados

Imágenes en libros de texto de 12 años

En la tabla 4 se especifican los datos de los 6 libros de texto de 7° año correspondientes a EGB 3 (alumnos de 12 años), que fueron analizados.

Libro de Texto N° 1	Domenech, G., Espinoza, C., Frid, D., Huberman, N., Umerez, N. y Casanova, H. (1997). <i>El libro de la Naturaleza y la Tecnología 7</i> . Buenos Aires: Editorial Estrada.
Libro de Texto N° 2	Carreras, N., Conti, O., Fernández, C., Lantz, M., Milano, C. y Oliver, C. (2001). <i>Ciencias naturales 7</i> . Buenos Aires: Editorial Puerto de Palos.
Libro de Texto N° 3	Bassarsky, M., Valerani, A., Arriazu, F., Cornejo, J., Drewes, A., Martínez Larghi, M., y Villegas, D. (2001). <i>Naturaleza en Red 7</i> . Buenos Aires: Editorial AZ.
Libro de Texto N° 4	Lara, G., Nisenholc, R., Sellés-Martínez, J. y Victoria, C. (2005). <i>Ciencias Naturales 7</i> . Buenos Aires: Editorial Tinta Fresca.
Libro de Texto N° 5	Aristegui, R., Fernández, E., Franco, R. y Valli, R. (2002). <i>Ciencias Naturales 7</i> . Buenos Aires: Editorial Santillana.
Libro de Texto N° 6	Aristegui, R., Barderi, M., Cittadino, E., Delmonte, J., Fernández, E., Granieri, P., Morales, E., Rinaldi, M., y Schipani F. (1997). <i>Ciencias Naturales 8</i> . Buenos Aires: Editorial Santillana.

Tabla 4.- Libros de texto de EGB 3 analizados.

En la tabla 5 se muestra el resultado de aplicar los criterios de clasificación descritos.

Si se desglosa la tabla anterior, según cada uno de los criterios de clasificación utilizados, se obtienen las tablas 6, 7 y 8. En la tabla 6 se detalla el número de imágenes asociadas a las categorías del grado de iconicidad; en la tabla 7, se muestra la clasificación por el tipo de lenguaje y en la tabla 8, según el modelo atómico que subyace a las imágenes.

Grado de iconicidad	Representación	Lenguaje	Modelo atómico	Nº de imágenes EGB 3
Dibujo figurativo	Bolas y Varillas	Gráfico	1	2
	Fusionado	Gráfico	1	-
	Bolas	Gráfico	1	4
	Varillas	Gráfico	1	-
	Otros	Gráfico	1	3
Dibujo figurativo más signos	Niveles Electrónicos	Formal	2	3
	Otros	Gráfico	2	2
Dibujo esquemático más signos	CLOA	Gráfico Formal	3	-
	OM	Gráfico Formal	3	-
	Cuñas	Gráfico Formal	2	-
	Otros	Gráfico Formal	3	-
Descripción en signos normalizados	Lewis	Formal	2	2
	Diagrama de rayas	Formal	2	1
	Molecular	Formal	4	-
	Otros	Formal	3	-
Total				17

Tabla 5.- Clasificación de las imágenes de libros de texto de 12 años.

Grado de iconicidad	Nº de imágenes EGB 3
Dibujo figurativo	9
Dibujo figurativo más signos	5
Dibujo esquemático más signos	-
Descripción en signos normalizados	3
Total	17

Tabla 6.- Grado de iconicidad de las imágenes de libros de texto de 12 años.

Lenguaje	Nº de imágenes EGB 3
Gráfico	11
Formal	6
Gráfico y Formal	-
Total	17

Tabla 7.- Lenguaje de las imágenes de libros de texto de 12 años.

Modelo atómico	Nº de imágenes EGB 3
1	9
2	8
3	-
4	-
Total	17

Tabla 8.- Modelo atómico implicado en las imágenes de libros de texto de 12 años.

Discusión de sobre imágenes de libros de textos de 12 años

Las ilustraciones presentes en los libros de 12 años, muestran el uso de representaciones concretas variadas para referirse a los enlaces químicos. Las exigencias cognitivas y conceptuales que implican su comprensión son muy diferentes. Desde las representaciones de bolas hasta las de niveles electrónicos, hay una diversidad icónica, lingüística y conceptual que no debe pasar desapercibida al autor del libro de texto y al profesorado que lo utiliza.

Sin embargo, si buscamos generalizaciones, parece ser que los autores de los libros, o al menos de las ilustraciones que nos conciernen, consideran que los dibujos figurativos 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 (Matus y Nappa, 2006). No obstante, habría que ser cautos a la hora de elegir las analogías y las representaciones, 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. Por ejemplo, algunas imágenes encontradas representan las moléculas mediante uniones de *clips*, todos ellos iguales, para representar a 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.

Asimismo, en la mayoría de los casos (11 de 17), las imágenes que aparecen en los libros de EGB 3 utilizan el tipo de lenguaje gráfico, suponiendo que resulta más sencillo y cercano al conocimiento de los estudiantes de ese nivel educativo. Las representaciones son más concretas y análogas a lo conocido.

Por último, en algo más de la mitad de las representaciones concretas encontradas en los libros de EGB 3 subyace un modelo atómico molecular (sin constitución interna del átomo), ya que las imágenes muestran en general a los átomos como esferas y el objetivo perseguido es indicar que dos entidades están unidas o enlazadas de alguna manera, dando una idea

sencilla e ingenua de enlace químico. En el resto de las representaciones utilizadas por los autores de los textos está implícita la noción de modelos atómicos en los que se implica la constitución interna de la materia.

También es destacable que los modelos atómicos que hemos llamado 3) y 4) no aparezcan en los textos de este nivel educativo.

Imágenes en libros de texto de 15 años

En la tabla 9 figuran los datos de los 6 libros de texto de Polimodal (alumnos de 15 años), que fueron analizados.

Libro de Texto N° 7	Fernández Serventi, H. (1981). <i>Química general e inorgánica</i> . Buenos Aires: Editorial. Losada.
Libro de Texto N° 8	Mautino, J. M. (1992). <i>Química 4. Aula Taller</i> . Buenos Aires: Editorial. Stella.
Libro de Texto N° 9	Alegría, M., Bosack, A., Dal Fávero, M., Franco, R., Jaul, M. y Rossi, R. (1998). <i>Química I</i> . Buenos Aires: Editorial. Santillana
Libro de Texto N° 10	Aldabe, S., M., Aramendía, P. y Lacreu, L. (2004). <i>Química I. Fundamentos</i> . Buenos Aires: Editorial. Colihue.
Libro de Texto N° 11	Chandías, D. O. T. de, Weitz, C. de (2003). <i>Química</i> . Buenos Aires: Editorial Kapelusz.
Libro de Texto N° 12	Dal Fávero, M., Farré, S., Moreno, P., Olazar, L. y Steinman, M. (2002). <i>Química</i> . Buenos Aires: Editorial Puerto de Palos.

Tabla 9.- Libros de texto de Polimodal analizados.

La clasificación de las 90 imágenes encontradas en los libros de Polimodal se indica en la tabla 10.

Grado de iconicidad	Representación	Lenguaje	Modelo atómico	N° de imágenes
Dibujo figurativo	Bolas	Gráfico	1	3
	Bolas y varillas	Gráfico	1	3
	Fusionado	Gráfico	1	6
	Otros	Gráfico	1	1
Dibujo figurativo más signos	Niveles electrónicos	Formal	2	10
	Otros	Formal	2	4
Dibujo esquemático más signos	CLOA	Gráfico y Formal	3	2
	OM	Gráfico y Formal	3	1
	Cuñas	Gráfico y Formal	2	1
Descripción en signos normalizados	Lewis	Formal	2	39
	Diagrama de rayas	Formal	2	14
	Molecular	Formal	4	6
Total				90

Tabla 10.- Clasificación de las imágenes de libros de texto de 15 años.

En las tablas 11, 12 y 13 se presentan respectivamente los resultados según las variables analizadas.

Grado de iconicidad	N° de imágenes
Dibujo figurativo	13
Dibujo figurativo más signos	14
Dibujo esquemático más signos	4
Descripción en signos normalizados	59
Total	90

Tabla 11.- Grado de iconicidad de las imágenes de libros de texto de 15 años.

Lenguaje	N° de imágenes
Gráfico	17
Formal	69
Gráfico y Formal	4
Total	90

Tabla 12.- Lenguaje de las imágenes de libros de texto de 15 años.

Modelo atómico	N° de imágenes
1	13
2	68
3	3
4	6
Total	90

Tabla 13.- Modelo atómico implicado en las imágenes de libros de texto de 15 años.

Discusión de resultados sobre imágenes de textos de 15 años

La característica más destacada de los resultados obtenidos es su alta variabilidad, referida tanto al *grado de iconicidad*, como al *tipo de lenguaje* y al *modelo atómico subyacente* a 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 el 70% del total. Constituyen, pues, los tipos de imágenes más frecuentes a estas edades. Las representaciones de bolas usadas inicialmente en la enseñanza son acompañadas y en parte sustituidas por las de Lewis, rayas y de niveles electrónicos al final de su educación obligatoria. Son modelos que permiten visualizar los electrones que forman los enlaces, aunque no dan una idea de la representación tridimensional de la molécula, como las primeras que hemos mencionado.

En consecuencia, como se observa en la tabla 11, las imágenes son más abstractas, tienen menor grado de iconicidad, y dos terceras partes utilizan descripciones en signos normalizados frente a la tercera parte restante que siguen usando dibujos figurativos.

Asimismo, en este nivel de Polimodal, la relación entre el lenguaje gráfico y formal se invierte con respecto a lo observado para EGB 3. En este caso (Tabla 12), encontramos 17 imágenes que usan lenguaje gráfico y 69 que usan lenguaje formal, lo cual podría estar reflejando la intención de adaptarse a la etapa de desarrollo cognitivo que poseen los estudiantes de 15 años.

En su mayoría (Tabla 13), las imágenes analizadas implican para su comprensión el uso de los modelos atómicos con explicitación de la constitución interna del átomo, esto es, la concepción de un átomo formado por un núcleo y partículas negativas encargadas de formar enlaces y mantener unidos los átomos.

Por otra parte, es importante destacar que en el nivel Polimodal se comienza a incursionar tímidamente en representaciones en las que subyacen los modelos atómicos 3) y 4). Posiblemente la intención sea ofrecer representaciones más abstractas que hagan uso de conceptos ligados a la teoría cuántica y que se constituyan en puentes para el aprendizaje a nivel universitario.

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 poner la atención del lector y favorecer su aprendizaje, hemos de preguntarnos el motivo por el que los autores de los libros consideran que las representaciones de Lewis, de rayas y de niveles electrónicos, son fundamentales para el aprendizaje de este contenido en el nivel de 1° de Polimodal.

Imágenes en libros de textos de nivel Universitario

En la tabla 14 se muestran los datos de los 6 libros de texto de nivel Universitario (alumnos de 18-20 años), que fueron analizados.

Libro de Texto N° 13	Mahan, B. (1980). <i>Química. Curso Universitario</i> . Fondo Educativo Interamericano
Libro de Texto N° 14	Longo, F. (1983). <i>Química General</i> . México: Editorial Mc Graw Hill
Libro de Texto N° 15	Babor, J., Ibarz, J. (1980). <i>Química General Moderna</i> . España: Editorial Marín.
Libro de Texto N° 16	Daniels, F., Alberty, R. (1975). <i>Fisicoquímica</i> . México: Compañía Editorial Continental
Libro de Texto N° 17	Maron, S. y Prutton, C. (1972). "Fundamentos de Física y Química: México: Editorial Limusa Wiley, S.A.
Libro de Texto N° 18	Chang, R. (1997). <i>Química</i> . México: Editorial Mc Graw Hill.

Tabla 14.- Libros de texto de nivel universitario.

La clasificación completa de las imágenes encontradas se muestra en la tabla 15.

Grado de iconicidad	Representación	Lenguaje	Modelo atómico	N° de imágenes
Dibujo figurativo	Bolas y Varillas	Gráfico	1	3
	Varillas	Gráfico	1	1
Dibujo figurativo más signos	Niveles Electrónicos	Formal	2	2
	Otros	Gráfico	2	1
Dibujo esquemático más signos	CLOA	Gráfico y Formal	3	5
	OM	Gráfico y Formal	3	3
	Cuñas	Gráfico y Formal	2	1
	Otros	Gráfico y Formal	3	31
Descripción en signos normalizados	Lewis	Formal	2	31
	Diagrama de rayas	Formal	2	13
	Otros	Formal	2	12
Total				103

Tabla 15.- Clasificación de las imágenes de libros de texto de nivel universitario.

En las tablas 16, 17 y 18 se indica el número de imágenes correspondientes a cada grado de iconicidad, tipo de lenguaje y modelo atómico que subyace en cada una de las imágenes analizadas.

Grado de iconicidad	N° de imágenes
Dibujo figurativo	4
Dibujo figurativo más signos	3
Dibujo esquemático más signo	40
Descripción en signos normalizados	56
Total	103

Tabla 16.- Grado de iconicidad de las imágenes de libros de texto de nivel universitario.

Lenguaje	N° de imágenes
Gráfico	5
Formal	58
Gráfico y formal	40
Total	103

Tabla 17.- Lenguaje de las imágenes de libros de texto de nivel universitario.

Modelo atómico	Nº de imágenes
1	4
2	60
3	39
4	-
Total	103

Tabla 18.- Modelo atómico implicado en las imágenes de libros de texto de nivel universitario.

Discusión de resultados sobre imágenes de libros textos de nivel Universitario

El número de imágenes analizadas en los 6 libros de texto es de 103. Si se agrupan las representaciones de Lewis, de rayas y los dibujos esquemáticos más signos (sobre todo, los que muestran el proceso de formación de orbitales moleculares a partir de orbitales atómicos, así como el de orbitales híbridos), se alcanza el 73% del total. Éstas permiten visualizar los electrones que forman los enlaces, los electrones libres, los ángulos de enlace y además dan una idea de la representación tridimensional de la molécula.

En cuanto al lenguaje utilizado en las representaciones, podemos decir que un bajo número (5 de 103) utilizan lenguaje gráfico, mientras que la mayoría se expresa en lenguaje formal o, lo que consideramos más complicado aún, en lenguaje formal y gráfico. Se supone que los estudiantes de la universidad tienen un estadio cognitivo suficiente para poder interpretar sin mayores dificultades ese tipo de lenguaje.

Por tanto, en este nivel educativo, siguen teniendo un gran impacto las representaciones que requieren la conceptualización del átomo con modelos atómico tipo 2), esto es, los que implican un conocimiento de la estructura electrónica del mismo. Aunque se siguen utilizando mayoritariamente estas representaciones, también adquieren un peso específico en este nivel las representaciones basadas en los modelos atómicos ondulatorios. Concretamente, un 38% de las imágenes requieren para su comprensión modelos atómicos ondulatorios.

Conclusiones sobre el análisis de las imágenes de libros de texto de 12, 15 y 18 años

El análisis comparativo de las clasificaciones realizadas sobre las imágenes relacionadas con el enlace químico en los libros de texto de los tres niveles educativos analizados, arroja los siguientes resultados (Tabla 19):

1. Respecto al grado de iconicidad implicado en la imagen, en los libros de texto de 12 años son mayoritarios los dibujos figurativos, representados principalmente por los *modelos de bolas*, y son sustituidos en los libros de texto de 15 años y 18 años por representaciones que tienen menor carácter icónico, tales como las

representaciones de Lewis, rayas y de niveles electrónicos para los 15 años y estas mismas representaciones junto a las de orbitales moleculares y de orbitales híbridos, para los 18 años de edad.

Grado de iconicidad	Representación	Lenguaje	Modelo atómico	N° de imágenes		
				EGB	Polimodal	Universidad
Dibujo figurativo	Bolas y Varillas	Gráfico	1	2	3	3
	Fusionado	Gráfico		-	6	-
	Bolas	Gráfico		4	3	-
	Varillas	Gráfico		-	-	1
	Otros	Gráfico		3	1	-
Dibujo figurativo más signos	Niveles Electrónicos	Formal	2	3	10	2
	Otros	Gráfico		2	4	1
Dibujo esquemático más signos	CLOA	Gráfico Formal	3	-	2	5
	OM	Gráfico Formal		-	1	3
	Cuñas	Gráfico Formal	2	-	1	1
	Otros	Gráfico Formal	3	-	-	31
Descripción en signos normalizados	Lewis	Formal	2	2	39	31
	Diagrama de rayas	Formal		1	14	13
	Molecular	Formal	-	-	6	-
	Otros	Formal	2	-	-	12
Total				17	90	103

Tabla 19.- Clasificación de las imágenes de libros de texto de los tres niveles analizados.

2. Respecto al tipo de lenguaje involucrado en la representación, el uso del *lenguaje gráfico disminuye paulatinamente* al ascender de nivel, ocupando porcentajes del 65%, 19% y del 5% respectivamente para 12, 15 y 18 años. Por tanto, los autores de libros de texto eligen mayoritariamente modelos que usan lenguajes gráficos para los alumnos de doce años, mientras que prefieren los modelos con lenguajes más formales para los de quince y más aún para los alumnos universitarios (Tabla 19).

3. Por último, en cuanto al contenido conceptual de la imagen, analizado a través del modelo atómico más básico requerido para su comprensión, se ha podido comprobar que si bien a los 12 años hay un requerimiento tímidamente mayoritario de los *modelos atómicos tipo 1)*, esto es, de los que no contemplan la configuración electrónica atómica, a los 15 años de edad, en cambio, el 76% de las imágenes requieren para su comprensión los *modelos atómicos electrónicos o de tipo 2)*, porcentaje que disminuye al 58% en el caso de los libros de

texto universitarios. En este colectivo de libros, los *modelos ondulatorios o modelos tipo 3*) adquieren una presencia relativa nada despreciable del 38%. Por tanto, los modelos atómicos tipo 2) son una constante en todo el sistema educativo, con una presencia relativa del 47%, 67% y 58%. Se acompañan de modelos atómicos tipo 1) a los 12 y a los 15 años, y de modelos atómicos tipo 3) a los 18 años de edad.

El hecho de que una determinada temática, como la del enlace químico, sea tratada en diferentes niveles educativos, implica, a profesores, diseñadores del currículum y autores de libros de texto, tener que tomar decisiones sobre qué enseñar y qué representaciones usar en cada nivel educativo. Ante la falta de investigaciones precisas sobre las progresiones de aprendizaje en un contenido específico, que puedan orientar y servir de guía para la secuenciación más adecuada del contenido, se ha de acudir a la experiencia previa, a la intuición, o a la estructuración lógica del contenido para tomar decisiones sobre transposición didáctica. Evidentemente, la solución adoptada por los autores de libros de texto es muy dispersa, como se deriva de este estudio, en el que la conclusión más evidente es la alta dispersión en todas las dimensiones analizadas.

En estos momentos, se acaba de desarrollar una investigación, como tesis doctoral de una de las autoras, que trata precisamente de indagar en la progresión de aprendizaje de los estudiantes en el área del enlace químico y analizar la posible coherencia entre capacidades de los estudiantes y las representaciones usadas en los libros de texto.

Referencias bibliográficas

Barboux, M.; Chomat, A. ; Larcher, C. y M. Meheut (1987). *Modele particulaire et activites de modelisation en classe de 4ème*. Rapport de fin de recherche N° 12.09.84.87. L.I.R.E.S.P.T., Paris.

Chamizo, J.A. (2006). Los modelos de la Química. *Educación Química*, 17, 4, 476-482.

Chamizo, J.A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7, 1, 26-41.

Coll, R.K.; France B. e I. Taylo (2005). The role of models and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27, 2, 183–198.

Galagovsky, L.; Rodríguez, M.; Stamati, N. y L. Morales (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de las ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 1, 107-121.

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

Galagovsky, L. y A. Adúriz-Bravo (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 2, 231-242.

Galagovsky, L. y D. Bekerman (2009). La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8, 3, 952-975.

Guevara, S. y G. Valdez (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. *Educación Química*, 15, 3, 243-247.

Harrison, A.G. y D.F. Treagust (1996). Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80, 5, 509-534.

Han, J. y W.H. Roth (2005). Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro and microworld. *Science Education*, 90, 173-201.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 2, 173-184.

Justi, R. (2010). Learning how to model in science classroom: key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación Química*, 20, 1, 32-40.

Matus, L. y N. Nappa (2006). Análisis de las representaciones internas sobre enlace químico. XXVI Congreso Argentino de Química. San Luis, Argentina.

Matus, L.; Benarroch, A. y F.J. Perales (2008). Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 26, 2, 153-172.

Morrison, M. y M.S. Morgan (1999). Models as mediating instruments. En M.S. Morgan y M. Morrison (Eds.), *Models as mediators*, (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.

Nappa, N. (2002). Las representaciones mentales de los alumnos sobre el fenómeno de disolución. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. España.

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

Perales, F.J. y J. Jiménez (2004). Las ilustraciones en los libros de Física y Química de la ESO. *Revista Educación Abierta. Aspectos didácticos de Física y Química 12*. I.C.E de la Universidad de Zaragoza, 11-65.

Tomasi, J. (1999). Towards 'chemical congruence' of the models in theoretical chemistry. *HYLE – An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 5, 2, 79-115.

Treagust, D.; Duit, R. y M. Nieswandt (2000). Sources of student's difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11, 2, 228-235.

Urbina, S.; Gallego, R.; Pérez, R. y A.P. Gallego (2008). Una construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 23, 52-66.

Wu, H.K. y P. Shah (2004). Exploring visuespatial thinking in Chemistry learning. *Science Education*, 88, 465-492.

Zamora Barrancos, A.; Valcárcel Pérez, M.V. y G. Sánchez Blanco (2000). Análisis de los modelos de enlace químico en libros de texto de Educación Secundaria. Actas de los XIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Madrid. ISBN 84-699-4414-2.