



REPRESENTACIONES VISUALES ASOCIADAS AL ENLACE QUÍMICO EN LIBROS DE TEXTO DE SECUNDARIA BÁSICA EN ARGENTINA

VISUAL REPRESENTATIONS ASSOCIATED WITH THE CHEMICAL BOND IN SECONDARY TEXTBOOKS IN ARGENTINA

REPRESENTAÇÕES VISUAIS ASSOCIADAS À LIGAÇÃO QUÍMICA EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO NA ARGENTINA

María José Flores Córdoba* , Carina Alejandra Rudolph** ,
Carla Inés Maturano***

Flores Córdoba, M. J., Rudolph, C. A. y Maturano, C. I. (2025). Representaciones visuales asociadas al enlace químico en libros de texto de secundaria básica en Argentina. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 20(2), pp. 44-63. <https://doi.org/10.14483/23464712.21714>

Resumen

Para construir significado en ciencias naturales se emplean diversos recursos semióticos que se conjugan para comunicar datos y fenómenos. De ahí surge la necesidad de investigar las características de los recursos multimodales utilizados en los materiales educativos, por su potencial influencia en el aprendizaje. El objetivo de esta investigación es analizar las representaciones visuales que se utilizan en libros de texto en el capítulo referido a los enlaces químicos. La muestra está conformada por siete libros de circulación actual en la educación secundaria básica de Argentina. El análisis considera las siguientes dimensiones y categorías: formato (fotografías, diagramas, diagramas de red, gráficos, tablas, ecuaciones e íconos), nivel de representación (macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico) y función didáctica asociada (contenidos conceptuales referidos a entidades o procesos, contenidos referidos a la construcción del conocimiento científico y actividades a ser realizadas por los estudiantes). Los resultados muestran un predominio de diagramas y fotografías, como también de representaciones simbólicas y macroscópicas referidas a los contenidos conceptuales o asociadas a las actividades propuestas en los libros de texto. El análisis realizado permitiría a los docentes categorizar la información presentada en representaciones visuales referidas al enlace químico y, al mismo tiempo, les proporcionaría herramientas que podrían extenderse para evaluar

Recibido: Diciembre de 2023; aprobado: Mayo de 2025

* Profesora de Química, Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales, Universidad Nacional de San Juan. Argentina. mcordoba@ffha.unsj.edu.ar

** Profesora de Enseñanza Media y Superior en Lengua y Literatura Inglesa, Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales, Universidad Nacional de San Juan. Argentina. crudolph@ffha.unsj.edu.ar

*** Doctora en Ciencias de la Educación, Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales, Universidad Nacional de San Juan. Argentina. cmatur@ffha.unsj.edu.ar

materiales educativos sobre otros contenidos del ámbito de las ciencias naturales. Así, la exploración detallada de las representaciones visuales constituye el punto de partida para el diseño de actividades específicas que favorezcan el aprendizaje disciplinar.

Palabras clave: multimodalidad, materiales educativos, química, educación secundaria básica, Lingüística Sistémico-Funcional

Abstract

To construct meaning in Natural Sciences, various semiotic resources that come together to communicate data and phenomena are used. Hence arises the need to investigate the characteristics of multimodal resources used in educational materials due to their potential influence on learning. The objective of this research is to analyze the visual representations used in textbooks in the chapter referring to chemical bonds. The sample is made up of seven books currently in circulation in Basic Secondary Education in Argentina. The analysis considers the following dimensions and categories: format (photographs, diagrams, network diagrams, graphs, tables, equations and icons), level of representation (macroscopic, microscopic, submicroscopic and symbolic) and associated didactic function (conceptual contents referring to entities or processes, contents referring to the construction of scientific knowledge and activities to be carried out by students). The results show a predominance of diagrams and photographs, as well as of symbolic and macroscopic representations referring to the conceptual contents or associated with the activities proposed in the textbooks. The analysis carried out would allow teachers to categorize the information presented in visual representations referring to chemical bond and, at the same time, would provide them with tools that could be extended to evaluate educational materials on other contents in the field of Natural Sciences. Thus, the detailed exploration of visual representations constitutes the starting point for the design of specific activities that promote disciplinary learning.

Keywords: multimodality, educational materials, chemistry, basic secondary education, Systemic-Functional Linguistics

Resumo

Para construir significado nas Ciências Naturais, são utilizados diversos recursos semióticos que se unem para comunicar dados e fenômenos. Daí surge a necessidade de investigar as características dos recursos multimodais utilizados em materiais educativos devido à sua potencial influência na aprendizagem. O objetivo desta pesquisa é analisar as representações visuais utilizadas nos livros didáticos no capítulo referente às ligações químicas. A amostra é composta por sete livros atualmente em circulação no Ensino Médio Básico da Argentina. A análise considera as seguintes dimensões e categorias: formato (fotografias, diagramas, diagramas de redes, gráficos, tabelas, equações e ícones), nível de representação (macroscópico, microscópico, submicroscópico e simbólico) e função didática associada (conteúdos conceituais referentes a entidades ou processos, conteúdos referentes à construção do conhecimento científico e atividades a serem realizadas pelos alunos). Os resultados mostram predomínio de diagramas e fotografias, de representações simbólicas e macroscópicas

referentes aos conteúdos conceituais ou associadas às atividades propostas nos livros didáticos. A análise realizada permitiria aos professores categorizar as informações apresentadas nas representações visuais referentes à ligação química e, ao mesmo tempo, fornecer-lhes-ia ferramentas que poderiam ser estendidas para avaliar materiais didáticos sobre outros conteúdos da área de Ciências Naturais. Assim, a exploração detalhada das representações visuais constitui o ponto de partida para a concepção de atividades específicas que promovam a aprendizagem disciplinar.

Palavras chave: multimodalidade, materiais educativos, química, ensino secundário básico, Lingüística Sistêmico-Funcional

1. Introducción

Las representaciones visuales (en adelante RV) son fundamentales para la creación de significado en ciencias (Nielsen y Yeo, 2022). Los científicos las usan para comprender y comunicar datos y fenómenos. En el ámbito educativo, están incluidas en los libros de texto que constituyen uno de los recursos por medio de los cuales los estudiantes se aproximan al conocimiento.

Las RV ocupan un lugar destacado en los materiales educativos, como los libros de texto, por lo que es necesario investigar su uso en la construcción de la ciencia (Tang, 2023). Cuando se enseña en las aulas de ciencias, el docente realiza suposiciones acerca de la comprensión de los estudiantes de las imágenes científicas, lo cual en ocasiones, sumado a la falta de una capacitación explícita en su abordaje didáctico, podría dificultar el aprendizaje de los estudiantes y su posterior desempeño en las evaluaciones de ciencias (LaDue et al., 2015). Nos preguntamos cómo son las RV que se emplean para comunicar algunos contenidos de la química, especialmente los abstractos, por su potencial influencia en la comprensión y en el aprendizaje. A partir de ahí, el objetivo de esta investigación es analizar las RV que se utilizan en libros de texto de educación secundaria básica de Argentina, en el capítulo referido a los enlaces químicos, con el fin de identificar aspectos que podrían ser evaluados por el docente para decidir su abordaje en el aula.

2. Marco teórico

Los conceptos químicos son inherentemente multimodales dado que para comunicarlos se utiliza la combinación de más de un modo de representación. En este sentido, las RV tienen un lugar importante en los libros de texto para expresar dichos conceptos. Una RV puede definirse como un gráfico independiente que está incrustado en el texto principal y que a veces aparece con una leyenda descriptiva (Tang, 2023), que puede consistir en anotaciones referidas a una parte específica de la RV o en un cotexto que alude a la imagen como un todo (Unsworth, 2021). Para que los estudiantes aprendan química, ellos deberían poder hacer asociaciones mentales no sólo entre los diversos formatos de representación, sino también entre los diferentes niveles de representación (Cheng y Gilbert, 2009). A continuación, abordaremos cada uno de estos aspectos.

En cuanto a los formatos de representación, Tang (2023) y LaDue et al. (2015) distinguen, entre otros, los siguientes:

- Fotografías: imágenes realistas tomadas por instrumentos ópticos que tienen una correspondencia directa con el mundo real.
- Diagramas: dibujos esquemáticos o representaciones imaginarias, ya sea dibujados a mano o generados por computadora, que

simbolizan algunos aspectos de un objeto o proceso.

- Diagramas de red: representaciones esquemáticas de ideas, procesos o relaciones sin ningún tipo de correspondencia directa con un objeto real, que denotan relaciones abstractas entre diferentes componentes visuales mediante líneas, flechas, proximidad, similitud o contención.
- Gráficos: representaciones simbólicas que codifican información cuantitativa usando posición y magnitud de objetos geométricos.
- Tablas: disposiciones de datos (palabras, números, símbolos, entre otros) en filas y columnas que resaltan las relaciones establecidas entre ellos.
- Ecuaciones: representaciones matemáticas o químicas que contienen al menos un signo más, menos, igual o flecha, excluyendo de esta categoría a las representaciones de Lewis (codificadas como diagramas).
- Íconos: imágenes que imparten una sola interpretación o significado que es evidente para el público al que están destinadas.

Tang (2023) sugiere que, en ocasiones, algunos tipos de representación se combinan entre sí. Por ejemplo, distingue combinaciones híbridas de diagramas con fotografías o de fotografías o diagramas con tablas. Por su parte, LaDue *et al.* (2015) destacan que las fotografías son las RV más comunes en los libros de texto de ciencias de primaria y secundaria, seguidas por los diagramas.

En relación con los niveles de representación, es posible distinguir en el ámbito de las ciencias naturales los siguientes: macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico (Gilbert y Treagust, 2009; Tsui y Treagust, 2013). Las RV macroscópicas exhiben fenómenos de acuerdo con el sentido visual humano, esto es, tal cual los podríamos percibir a simple vista. Las RV microscópicas muestran estructuras captadas usando un microscopio óptico o electrónico.

El nivel submicroscópico busca respaldar una explicación de los fenómenos mediante modelos (en dos o tres dimensiones) que involucran entidades que son demasiado pequeñas para ser vistas usando microscopios ópticos como, por ejemplo, átomos, moléculas, iones, electrones, etc. Por último, el nivel simbólico proporciona una explicación cuantitativa de los fenómenos mediante símbolos, letras, números y signos.

En el aprendizaje de la química, se hace necesario relacionar información expresada en los diferentes formatos y niveles enunciados. Por ejemplo, exige que el estudiante vincule el mundo macroscópico que percibe con un mundo submicroscópico basado en átomos y moléculas que no puede percibir, lo cual demanda además que aprenda un sistema de símbolos necesarios para su representación (Méndez Pérez y Ballesteros Correa, 2021). Sin embargo, se ha reportado que los estudiantes presentan grandes dificultades para relacionar los niveles macroscópicos y submicroscópicos de la materia (Ordenes-Piña *et al.*, 2014). Este problema se acentúa en ciertos temas de química como lo es el enlace químico. Dicho concepto es inherentemente abstracto y complejo, pero es clave y fundamental para comprender otros contenidos de química (Levy Nahum *et al.*, 2010).

El abordaje del enlace químico en los libros de texto ha sido estudiado en diferentes contextos, aunque aún no con libros de circulación actual en Argentina. En los últimos años se destacan investigaciones que analizaron, en libros de texto de otros contextos, los siguientes aspectos relacionados con este tema: la presentación de los modelos de enlace químico y su relación con las concepciones alternativas de los estudiantes y las dificultades de comprensión en libros suecos (Bergqvist *et al.*, 2013); la presentación de las clasificaciones y los modelos que contribuyeron al estudio de las uniones químicas y al abordaje de la historia de la química en libros españoles (Moreno Martínez, 2015); la forma con que se

presentan los conceptos de enlace químico y estructura de las sustancias en libros españoles y cómo son enseñados en las aulas (Caamaño Ros, 2016a; 2016b); el tratamiento del concepto de enlace químico también en libros de texto españoles (González Felipe, 2018) y en libros de texto chilenos (Williams y González, 2020). En Argentina, relevamos estudios previos, con una perspectiva teórica diferente a la que aquí presentamos (Matus et al., 2008; Matus et al., 2011), relacionados con el análisis de imágenes y representaciones utilizadas en libros de texto del sistema educativo anterior al actual.

3. Metodología

El objeto de estudio de esta investigación se relaciona con las RV sobre el enlace químico en una muestra de siete libros de texto de la educación secundaria básica de circulación actual, editados o reeditados después de la última reforma educativa en Argentina (en el año 2006). Los mismos corresponden a las últimas ediciones disponibles al momento de la realización de esta investigación, considerando las editoriales más recomendadas por los docentes del área (Maturano, 2018). En la Tabla 1 presentamos las referencias de los libros de texto de la muestra, los códigos utilizados en adelante para identificarlos y el número correspondiente al capítulo analizado referido a los enlaces químicos.

Tabla 1. Referencias de los libros de texto de la muestra

Código	Cita	Capítulo
LT1	Balbiano <i>et al.</i> (2021)	3
LT2	Bosack <i>et al.</i> (2014)	5
LT3	Calderón <i>et al.</i> (2015)	5
LT4	Pochne (2018)	3
LT5	Schonholz <i>et al.</i> (2017)	5
LT6	Cerdeira y Elsinger (2010)	2
LT7	Serrano <i>et al.</i> (2017)	3

Fuente: elaboración propia

El análisis realizado para cada una de las RV, identificadas en cada libro de texto, incluye la

información expresada en lenguaje verbal tanto en anotaciones como en cotexto. Para examinar las representaciones y aumentar la validez y calidad del estudio, utilizamos la triangulación de investigadores, la cual consistió en el análisis de datos de manera independiente por diferentes investigadores y la puesta en común mediante comparación para lograr un consenso. En esta investigación consideramos tres dimensiones de análisis:

1. *Formato.* Tuvimos en cuenta los tipos de formato propuestos por Tang (2023) y LaDue *et al.* (2015), ya definidos en el Marco Teórico de este artículo: fotografías, diagramas, diagramas de red, gráficos, tablas, ecuaciones e íconos. Vale destacar que en la categoría de “ecuaciones” incluimos las fórmulas químicas. Por otra parte, en esta investigación consideramos como representaciones híbridas a aquellas que combinan dos o más de los formatos mencionados para distinguirlas de las representaciones puras que utilizan un solo formato. Para analizar las representaciones híbridas, hemos generado nuevas categorías a partir del análisis de las RV incluidas en los libros de la muestra, considerando los diferentes modos en que se conjuga la información. Las categorías planteadas intentan dar cuenta de la importancia dada a alguno de los formatos, por lo que distinguimos: (a) RV híbridas en las que se prioriza un formato sobre otro al organizar la información y (b) RV híbridas en las que se usan varios formatos con jerarquía semejante.

2. *Nivel de representación.* En esta dimensión distinguimos los niveles propuestos por Tsui y Treagust (2013) que usamos como categorías de análisis: macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico.

3. *Función didáctica.* A partir de un examen cuidadoso de la muestra, para caracterizar la relación de cada RV con su función didáctica, construimos las siguientes categorías: (a)

contenidos conceptuales relacionados con las uniones químicas, referidos a entidades (átomos, iones, compuestos, fórmulas, etc.) o procesos (ionización, polarización, ejemplos específicos asociados a procesos químicos, etc.); (b) contenidos referidos a la construcción del conocimiento científico históricamente, relacionados con científicos o contribuciones de estos al avance del conocimiento sobre el tema; (c) actividades para ser realizadas por los estudiantes, como actividades con “lápiz y papel”, actividades relacionadas con experimentos, investigaciones escolares o enlaces que llevan a otros recursos.

4. Resultados

En este apartado presentamos los resultados del análisis realizado sobre los libros de texto de la muestra, teniendo en cuenta las dimensiones y categorías que especificamos en la sección anterior. Un primer análisis de la cantidad de RV que se incluyen en cada libro de texto muestra un amplio rango que va desde 20 a 62 RV en el capítulo destinado a las uniones químicas, como se observa en la Figura 1.

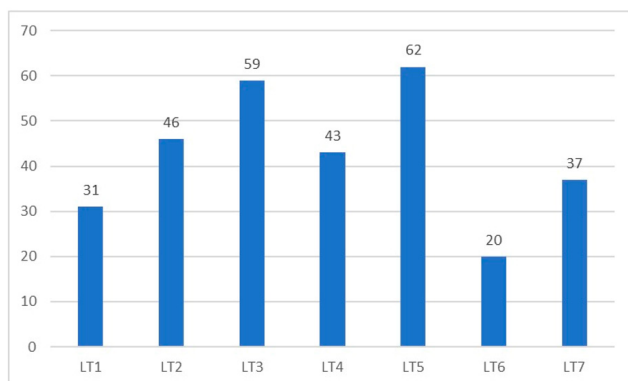


Figura 1. Cantidad de RV por LT
Fuente: elaboración propia

4.1. Formato

En la Figura 2 mostramos, para 298 RV encontradas, la frecuencia absoluta (N) y los porcentajes

calculados sobre el total de la muestra (%) para las RV puras e híbridas. Los valores obtenidos ponen en evidencia un predominio de las representaciones puras que utilizan un solo formato.

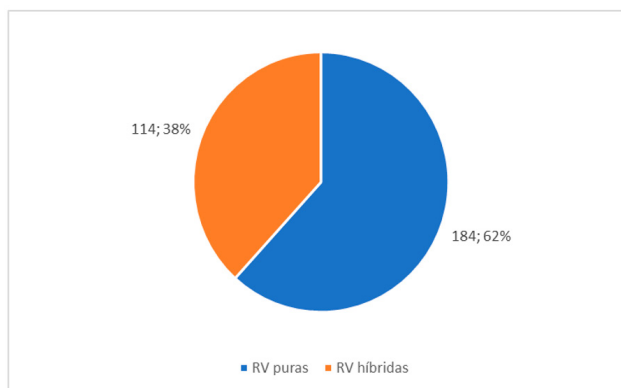


Figura 2. Frecuencias absolutas y porcentajes para las RV puras e híbridas del total de la muestra
Fuente: elaboración propia

Si analizamos esta relación para cada uno de los libros de texto de la muestra, obtenemos los resultados que se exponen en la Figura 3. Notamos que en la mayoría de los libros hay un predominio de las representaciones puras, con excepción del LT6.

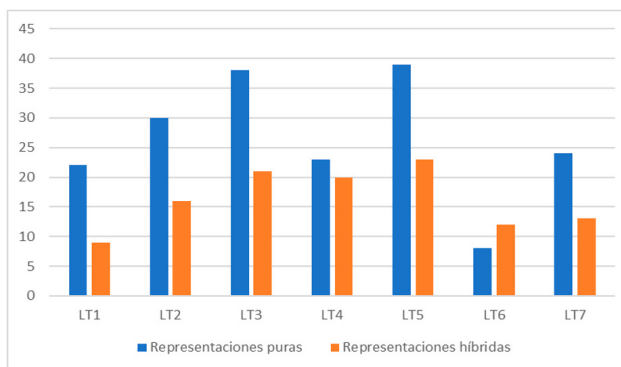


Figura 3. Cantidad de representaciones puras e híbridas referidas al enlace químico en cada LT de la muestra
Fuente: elaboración propia

4.1.1. Representaciones visuales puras

En relación con las RV puras (N=184), hemos caracterizado cada una según su formato. Obtuvimos así las frecuencias absolutas y

porcentajes que se grafican en la Figura 4. Notamos que priman los diagramas y fotografías, siguiendo en frecuencia las tablas y ecuaciones, y con menor asiduidad encontramos diagramas de red, gráficos e íconos. Los diagramas generalmente representan los modelos atómicos y/o moleculares (diagramas de Lewis, de bolas y varillas, de niveles energéticos, entre otros) y las fotografías en su mayoría muestran sustancias químicas en su estado natural o en productos tecnológicos, corresponden a experimentos y su realización y, en otros casos, presentan científicos que contribuyeron en el desarrollo del tema. Las tablas se usan principalmente para exponer información en forma ordenada como, por ejemplo, una tabla de conductividades o electronegatividades; también se presentan en forma incompleta para que los estudiantes vuelquen allí resultados experimentales. Las ecuaciones corresponden a fórmulas químicas y reacciones que ejemplifican los diferentes tipos de uniones químicas. Los diagramas de red se utilizan para representar las relaciones entre los contenidos abordados en la unidad, ubicándose en el comienzo o en el final del capítulo. El gráfico encontrado corresponde a una analogía formalizada y el ícono consiste en un pictograma que muestra una calavera con huesos cruzados para simbolizar sustancias químicas que pueden causar daños a la salud o la muerte. En la Figura 5 presentamos ejemplos de RV puras para cada uno de los formatos analizados: (A) fotografía de cristales de sulfuro ferroso, (B) diagrama de niveles energéticos de diferentes elementos, (C) diagrama de red incompleto que vincula los contenidos abordados en el capítulo, (D) gráfico del planisferio utilizado como analogía para mostrar la utilidad de las representaciones de la geometría molecular, (E) tabla que presenta las características de distintas sustancias, (F) ecuación de formación de NaCl y (G) ícono de toxicidad.

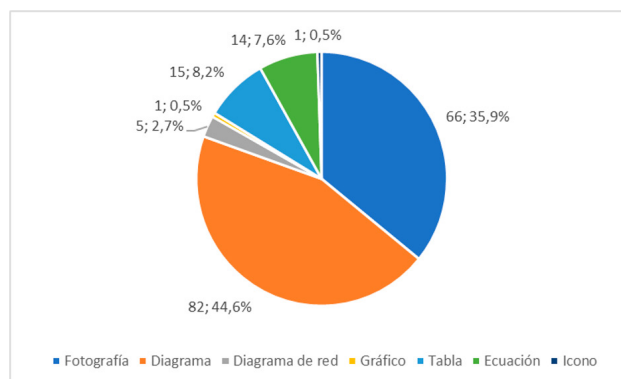


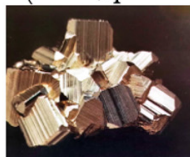
Figura 4. Frecuencias absolutas y porcentajes sobre el total de representaciones visuales puras para el total de la muestra
Fuente: elaboración propia

En la Figura 6 mostramos el relevamiento de formatos para las RV puras para cada libro de la muestra. Se indica para cada libro la frecuencia absoluta para cada formato. Estos resultados muestran que LT3, LT2 y LT5 insertan en el capítulo mayor cantidad de fotografías, mientras que LT7, LT6, LT1 y LT4 incluyen sólo algunas. Todos los libros analizados exponen numerosos diagramas, a excepción de LT6 que no presenta diagramas como RV pura. Para los formatos restantes, no encontramos diferencias significativas entre los libros de texto.

4.1.2. Representaciones visuales híbridas

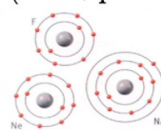
Además de las RV puras, encontramos en los libros representaciones que combinan dos o más formatos (N=114). A pesar de que esas representaciones híbridas son menores en cantidad, como se muestra en la Figura 1, consideramos que merecen un análisis detallado puesto que exigen al lector establecer relaciones entre información expresada en diferentes formatos. Notamos que en algunos casos se prioriza un formato sobre otro al organizar la RV (N= 72) y en otros casos se usan varios formatos con jerarquía semejante (N=42). Para presentar dicho análisis definimos las siguientes categorías, teniendo en cuenta la importancia dada en la RV a la información expresada en lenguaje visual: hibridación de formatos de diferente jerarquía e hibridación de formatos de jerarquía semejante.

A (LT2, p. 104)



El sulfuro ferroso es también llamado pirita. Este material era confundido con oro debido a su color y brillo, por lo que es llamado "el oro de los tontos".

B (LT4, p. 50)



El flúor (F) solo necesita ganar un electrón para completar el octeto, mientras que el sodio (Na) se estabiliza cediendo un electrón. El neón (Ne) tiene su nivel energético externo completo con ocho electrones.

C (LT5, p. 108)



D (LT3, p. 123)

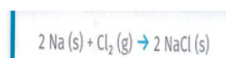


Planisferio, representación en dos dimensiones.

E (LT6, p. 60)

Sustancia	Solubilidad en agua	Conducta eléctrica	Estado a temperatura ambiente
A	Insoluble	No conduce	Líquido
B	Soluble	Conduce cuando está en estado líquido pero no en estado sólido	Sólido
C	Insoluble	Conduce en estado sólido y líquido	Sólido
D	Insoluble	No conduce	Sólido

F (LT7, p. 44)



G (LT3, p. 118)



El ácido fluorhídrico es extremadamente corrosivo y un veneno de contacto.

Figura 5. Ejemplos de RV puras para cada formato analizado
Fuente: elaboración propia a partir de RV de los libros de textos de la muestra

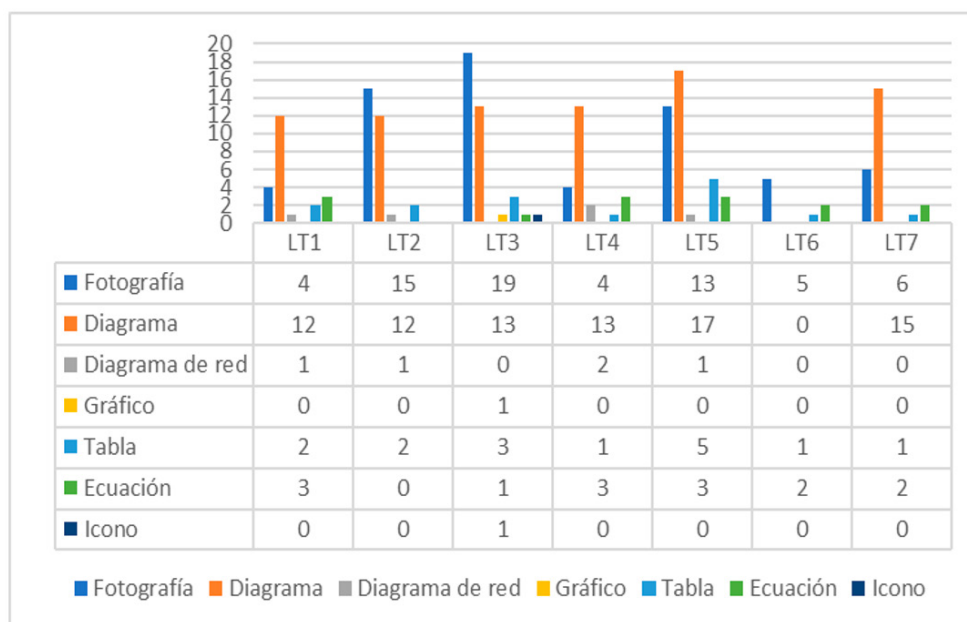


Figura 6. Cantidad de representaciones puras para cada formato en cada LT de la muestra
Fuente: elaboración propia

4.1.2.1. Hibridación de formatos de diferente jerarquía

En esta categoría agrupamos las RV en las que un formato tiene prioridad sobre los restantes, donde distinguimos de la siguiente manera: tabla que incluye información expresada en otros formatos (diagramas, fórmulas o ecuaciones y/o fotografías); diagrama acompañado de ecuaciones; fotografía acompañada de ecuaciones; y diagrama de red que incluye información expresada en otros formatos (diagramas, fórmulas o ecuaciones y/o fotografías). En la Tabla 2 presentamos las frecuencias absolutas para cada LT y en la Figura 7 ejemplos para cada categoría.

Tabla 2. Frecuencia absoluta de RV híbridas de formatos de diferente jerarquía para cada LT

LT	1	2	3	4	5	6	7
Tabla + otros formatos	4	9	10	5	4	2	8
Diagrama + ecuación	1	1	-	7	9	-	-
Fotografía + ecuación	3	3	-	-	1	-	-
Diagrama de red + otros formatos	-	-	-	1	2	2	-

Fuente: elaboración propia

A partir del análisis de las RV híbridas de esta categoría, podemos afirmar que la combinación de formatos con diferente jerarquía se da de la siguiente manera:

- Tabla + otros formatos: se presentan con mayor jerarquía las tablas que permiten organizar gran cantidad de información que se vincula entre sí, favoreciendo que el estudiante pueda comparar información expresada de modo diferente para un mismo fenómeno o para diferentes fenómenos. La densidad informativa encontrada en estos casos es alta por lo que surge una exigencia correspondiente para su interpretación.
- Diagrama o fotografía + ecuación: se presentan con mayor jerarquía los diagramas o fotografías y se usan ecuaciones incluidas en cotextos o anotaciones para indicar mediante fórmulas cuál es la sustancia o compuesto representado.

- Diagrama de red + otros formatos: se presentan con mayor jerarquía diagramas de red que muestran la relación entre contenidos y se incluyen fotografías, ecuaciones y diagramas para complementar la información expuesta.

En la Figura 7 presentamos algunos ejemplos de RV híbridas en los que priman las tablas (A: la tabla organiza información acerca de la geometría de las moléculas e incluye diagramas y fórmulas para los diferentes ejemplos); los diagramas (B: el diagrama representa con bolas y varillas la estructura del silano y se indica en el cotexto su fórmula); las fotografías (C: la fotografía muestra la carga de combustible en un automóvil y menciona en el cotexto cuál es el compuesto del combustible y su fórmula); y los diagramas de red (D: el diagrama de red muestra vinculaciones entre contenidos adjuntando representaciones en forma de diagramas y fotografías para ejemplificar).

4.1.2.2. Hibridación de formatos de jerarquía semejante

En otros casos no se destaca un formato sobre los restantes, sino que se usan en la RV con jerarquía semejante. Encontramos en la muestra combinaciones de diferentes formatos utilizadas para representar un mismo compuesto. En la Tabla 3 presentamos las frecuencias absolutas para cada combinación en cada libro.

Tabla 3. Frecuencia absoluta de RV híbridas de formatos de jerarquía semejante para cada LT

LT	1	2	3	4	5	6	7
Diagrama - ecuación	1	1	6	5	2	3	5
Fotografía - diagrama	-	2	4	2	1	3	-
Fotografía - ícono	-	-	-	-	4	-	-
Fotografía - ecuación	-	-	1	-	-	-	-
Fotografía - diagrama - ecuación	-	-	-	-	-	1	-
Fotografía - diagrama - ecuación - tabla	-	-	-	-	-	1	-

Fuente: elaboración propia

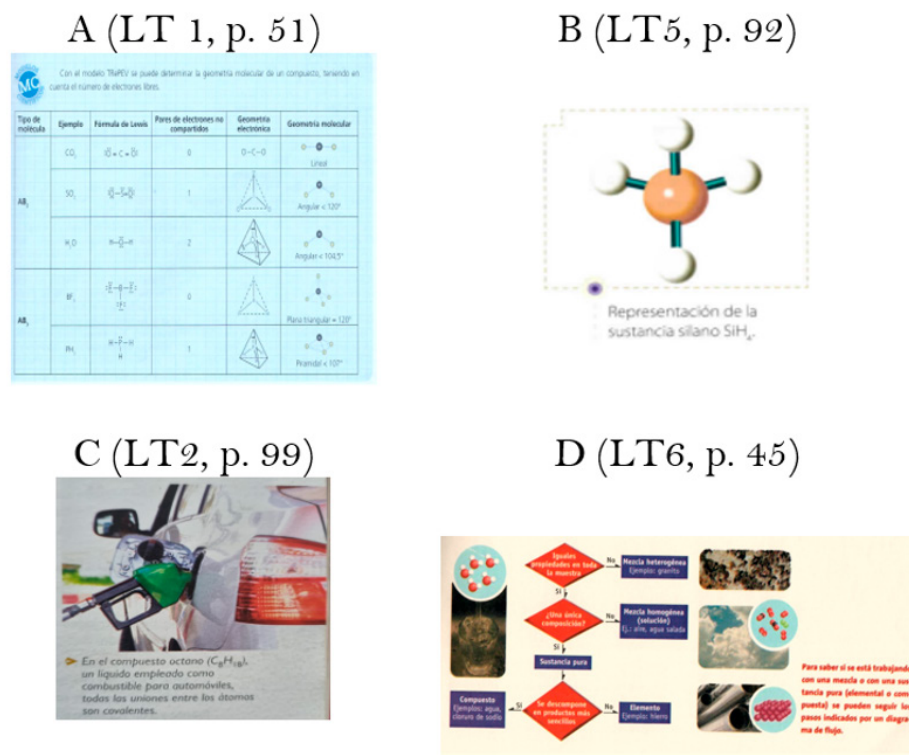


Figura 7. Ejemplos de RV híbridas en las que prima un formato
Fuente: elaboración propia a partir de RV de los libros de textos de la muestra

A partir del análisis de las RV híbridas de esta categoría, podemos afirmar que la combinación de formatos con jerarquía semejante se da de la siguiente manera:

- Diagrama-ecuación (N=23): las RV de esta categoría exponen sustancias usando diferentes modelos (modelo de bolas o esferas, modelo de bolas y varillas, diagrama de Lewis, entre otros) acompañados de la fórmula molecular o desarrollada de cada sustancia. Otros diagramas evidencian las deformaciones de las nubes electrónicas para mostrar polaridad, a lo que se suman las fórmulas correspondientes.
- Fotografía-diagrama (N=12): las RV de esta categoría en todos los casos presentan sustancias tanto en formato fotografía como en formato diagrama (ya sea de bolas y varillas, de esferas o de densidad electrónica) que se vinculan entre sí. En algunos casos se disponen uno al lado de otro o haciendo un acercamiento (o *zoom*) para mostrar su estructura interna. En algunas anotaciones en LT2, LT4 y LT6 se inserta además la fórmula del compuesto correspondiente.
- Fotografía-ícono (N=4): estas representaciones se han utilizado en LT5 para mostrar una fotografía como captura de imagen de un video externo para cuyo acceso debe utilizarse un código QR, un ícono.
- Fotografía-ecuación (N=1): en esta representación incluida en LT3 se muestra la imagen de un material cotidiano cuyos componentes se indican mediante las fórmulas correspondientes.
- Fotografía-diagrama-ecuación (N=1): en esta representación que figura en LT6 se exponen dos sustancias mediante fotografías, diagramas de esferas y sus fórmulas mínima, molecular y estructural.

- Fotografía-diagrama-ecuación-tabla (N=1): esta representación inserta en LT6 está compuesta de información acerca de cationes y aniones que se ejemplifican en una tabla, se representa su estructura mediante diagramas, se indican las fórmulas químicas correspondientes y se muestra la fotografía para uno de ellos.

En la Figura 8 presentamos algunos ejemplos de RV híbridas en las que se combinan formatos con jerarquía semejante. Estos corresponden a: diagrama-ecuación (A: la representación combina el diagrama de Lewis y la fórmula del hidrógeno molecular); fotografía-diagrama (B: una fotografía de la sal de mesa con un diagrama de esferas que

evidencia su composición química); fotografía-ícono (C: la captura de pantalla muestra una salina acompañada del código QR que enlaza a un video explicativo); fotografía-ecuación (D: una fotografía de las pinturas de una paleta de pintor con las fórmulas correspondientes a varios compuestos); fotografía-diagrama-ecuación (E: una fotografía de una garrafa y de una pastilla efervescente en agua con el diagrama de la estructura y la ecuación para el butano y el dióxido de carbono); fotografía-diagrama-ecuación-tabla (F: la representación combina una imagen obtenida en el microscopio, diagramas de estructura y fórmulas para varios cationes y aniones que se listan en una tabla).



Figura 8. Ejemplos de RV híbridas en las que la jerarquía de los formatos es semejante
Fuente: elaboración propia a partir de RV de los libros de textos de la muestra

4.2. Nivel de representación

En la Figura 9 graficamos la frecuencia absoluta (N) y los porcentajes calculados sobre un total de 298 RV que constituyen el total de la muestra (%) usando la notación (N; %) y distinguiendo las RV que utilizan un solo nivel de representación y las que combinan dos o más. Los valores obtenidos muestran un predominio de las representaciones correspondientes a un solo nivel.

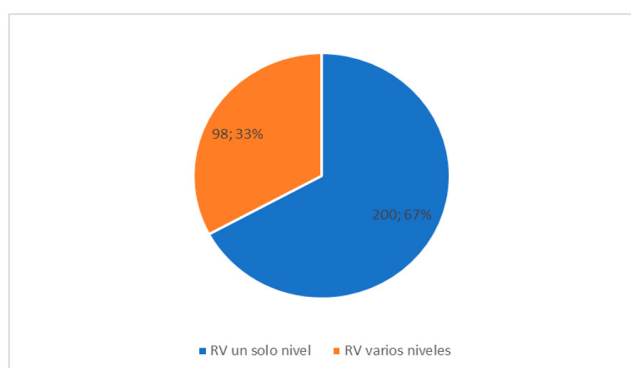


Figura 9. Frecuencias absolutas y porcentajes para las RV puras e híbridas del total de la muestra

Fuente: elaboración propia

Las RV asociadas a un solo nivel de representación en su mayoría corresponden al nivel simbólico o al nivel macroscópico. En la Figura 10 graficamos las frecuencias absolutas para cada una de estas categorías, incluyendo la tabla de valores para cada libro de texto.

En la Figura 11 presentamos algunos ejemplos de RV correspondientes a un solo nivel de representación. Las mismas se asocian con el nivel macroscópico (A: fotografía de una muestra de óxido de calcio); el nivel microscópico (B: imagen de cristales obtenida en el microscopio); el nivel submicroscópico (C: representación de bolas y varillas de la molécula de cloro); y el simbólico (D: representación de Lewis y fórmula química del amoníaco). De esta manera, las RV de nivel macroscópico tienen generalmente formato de fotografías, las RV de nivel microscópico corresponden a fotografías de cristales observados con el microscopio óptico, las RV de nivel submicroscópico consisten en diagramas de modelos atómicos y/o modelos de geometría molecular, y las RV de nivel simbólico se asocian principalmente a símbolos de elementos, ecuaciones y fórmulas químicas o a diagramas de Lewis.

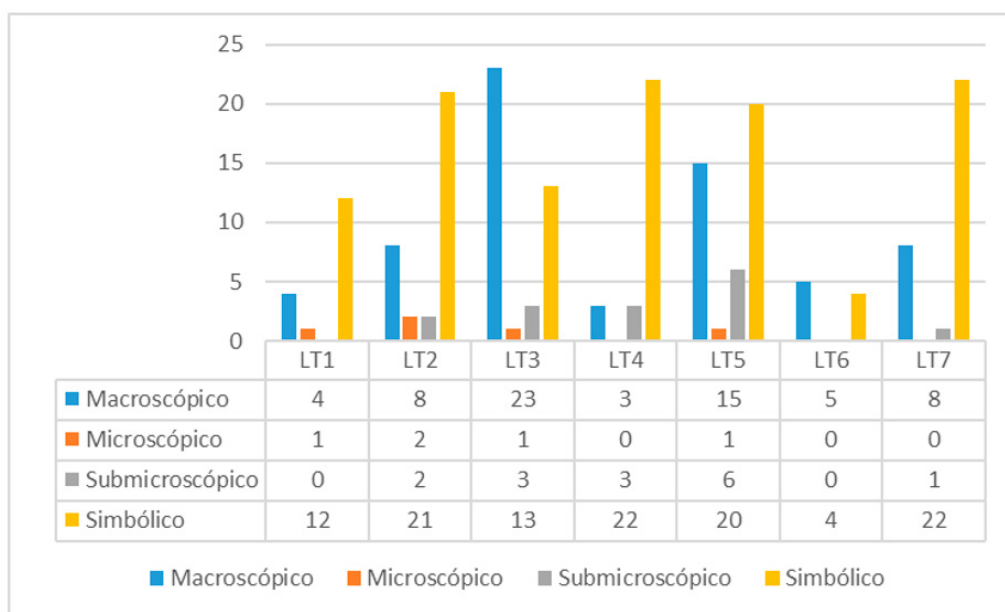


Figura 10. Cantidad de RV correspondientes a un solo nivel de representación en cada LT de la muestra

Fuente: elaboración propia



Figura 11. Ejemplos de RV de un solo nivel de representación
Fuente: elaboración propia a partir de RV de los libros de textos de la muestra

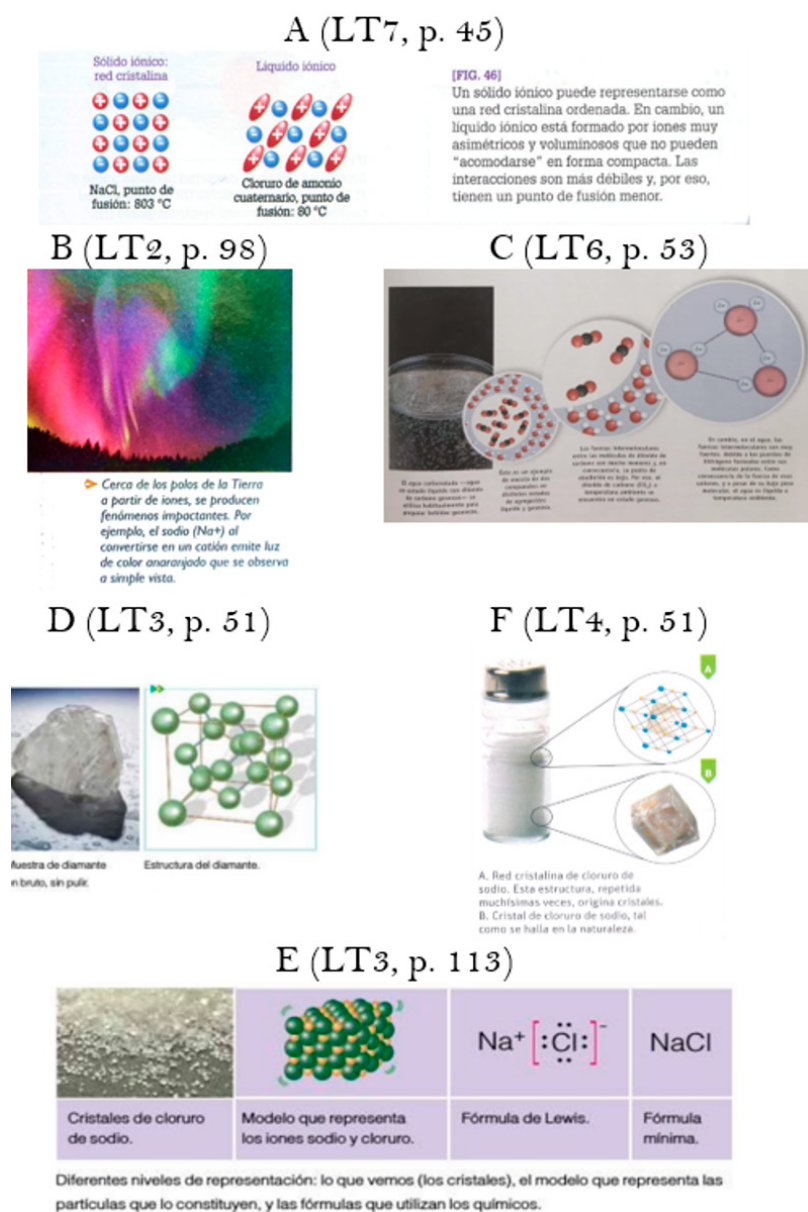
En otros casos, encontramos RV que combinan niveles de representación. En la Tabla 4 registramos las combinaciones detectadas y las frecuencias correspondientes para cada libro.

Tabla 4. RV y combinaciones de niveles de representación en las RV de la muestra

LT	1	2	3	4	5	6	7
Submicroscópico - simbólico	11	5	12	11	14	3	6
Macroscópico - simbólico	3	7	-	2	4	2	-
Macroscópico - submicroscópico - simbólico	-	1	2	1	-	4	-
Macroscópico - submicroscópico	-	-	3	-	2	1	-
Microscópico - submicroscópico - simbólico	-	-	2	-	-	1	-
Macroscópico - microscópico - submicroscópico	-	-	-	1	-	-	-

Fuente: elaboración propia

Analizamos a continuación los datos que se visualizan en la Tabla 4. Se destaca en frecuencia la combinación de los niveles submicroscópico y simbólico que se da en representaciones en las que se muestra la estructura atómica y/o molecular de un compuesto (a través de diagramas de bolas y varillas, de esferas, de niveles electrónicos o de nubes de densidad de carga), incluyendo la representación simbólica del compuesto correspondiente a través de su fórmula química o a través del diagrama de Lewis. Siguen en frecuencia las RV que combinan los niveles macroscópico y simbólico, las cuales muestran los compuestos tal como podrían ser captados a simple vista, acompañados de su representación simbólica a través de su fórmula química o de la representación de Lewis. Las combinaciones restantes se presentan en menor cantidad en los LT de la muestra.

**Figura 12.** Ejemplos de RV que combinan diferentes niveles de representación**Fuente:** elaboración propia a partir de RV de los libros de textos de la muestra

En la Figura 12 presentamos algunos ejemplos de RV en las que se conjugan diferentes niveles de representación. Estos corresponden a combinaciones de los niveles: submicroscópico - simbólico (A: representaciones del cloruro de sodio en estado sólido y líquido con anotaciones que incluyen su fórmula); macroscópico - simbólico (B: fotografía de una aurora boreal en cuyo cotexto se explica el comportamiento de los cationes

sodio Na⁺); macroscópico - submicroscópico - simbólico (C: fotografía del agua carbonatada que se complementa con una cadena de imágenes que muestran representaciones de esferas, de bolas y varillas, y de densidad electrónica en sucesivos acercamientos al interior de la materia); macroscópico - submicroscópico (D: fotografía de un diamante en bruto acompañada de una representación de su estructura cristalina);

microscópico – submicroscópico - simbólico (E: representaciones de cristales de cloruro de sodio que exponen los cristales visualizados en el microscopio, la estructura cristalina en diagrama de bolas, su diagrama de Lewis y su fórmula mínima organizados en una tabla); macroscópico – microscópico - submicroscópico (F: fotografía de un salero que incluye mediante *zoom* tanto la imagen obtenida para la sal en el microscopio óptico como una imagen que muestra la distribución espacial de los átomos en la red cristalina).

4.3. Función didáctica

En la Figura 13 graficamos la frecuencia absoluta (N) y los porcentajes calculados sobre el total de RV que constituyen la muestra (%), usando la notación (N; %) y distinguiendo las representaciones que se asocian a contenidos conceptuales, a la construcción del conocimiento científico o a la propuesta de actividades a realizar por los estudiantes. Los valores obtenidos muestran un claro predominio de las representaciones correspondientes a contenidos conceptuales.

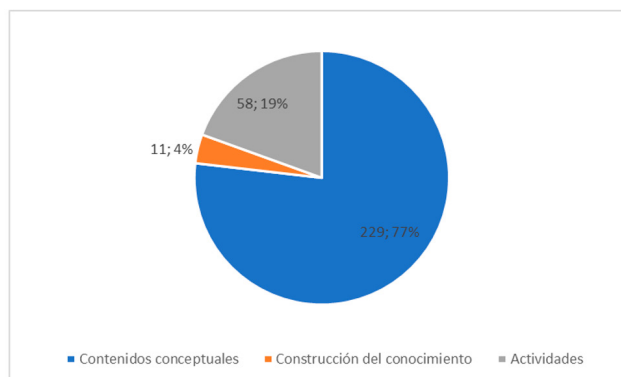


Figura 13. Frecuencias absolutas y porcentajes para el total de la muestra de RV según la función didáctica

Fuente: elaboración propia

En la Figura 14 graficamos las frecuencias absolutas para cada una de estas categorías, incluyendo la tabla de valores para cada libro. Las RV asociadas a la categoría contenidos conceptuales son predominantes en todos los libros de la muestra y le sigue en frecuencia la categoría de actividades. Se presentan en menor medida las RV asociadas a la construcción del conocimiento, lo cual se hace sólo en LT1, LT2, LT3 y LT4.

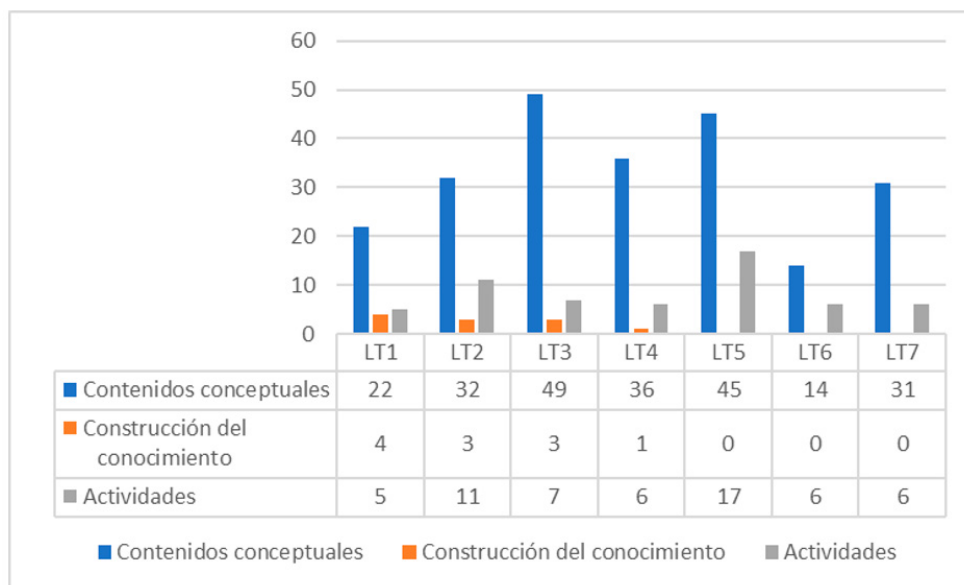


Figura 14. Cantidad de RV correspondientes a la función didáctica en cada LT de la muestra

Fuente: elaboración propia

4.3.1. Contenidos conceptuales relacionados con las uniones químicas (entidades y procesos)

Las RV asociadas a contenidos conceptuales relacionados con el tema disciplinar seleccionado se refieren tanto a entidades como a procesos químicos. En la Figura 15 graficamos las frecuencias absolutas para cada una de estas categorías, incluyendo la tabla de valores para cada libro. Como se puede visualizar claramente, la gran mayoría (83% de la cantidad de RV asociadas a contenidos conceptuales) corresponde a entidades (átomos, compuestos, iones, moléculas) y el resto (17%) a procesos (etapas de la formación de compuestos con uniones de diferentes tipos). Este comportamiento se repite con cierta regularidad en todos los libros de la muestra.

4.3.2. Contenidos referidos a la construcción del conocimiento científico

Algunas RV se relacionan con la construcción del conocimiento científico. En la Figura 16 graficamos las frecuencias absolutas para las categorías referidas a científicos (45% del total de RV de esta categoría) y contribuciones de los científicos al avance del conocimiento sobre el tema (55%), incluyendo la tabla de valores para cada libro. Como se puede visualizar, no todos los libros de la muestra incluyen RV en estas categorías. LT2 y LT3 incluyen representaciones que exponen fotografías de científicos (Lewis, Sidgwick, Kossel, Pauling, Van der Waals), mientras que LT1, LT2 y LT4 muestran avances en relación con el conocimiento de las uniones químicas que se han ido desarrollando a lo

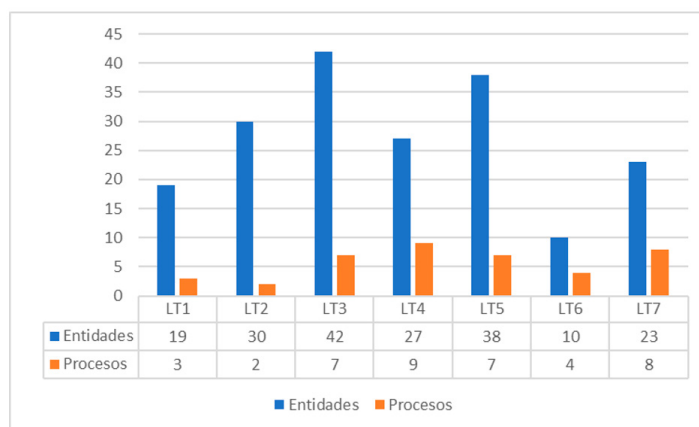


Figura 15. Cantidad de RV correspondientes a contenidos conceptuales en cada LT de la muestra
Fuente: elaboración propia

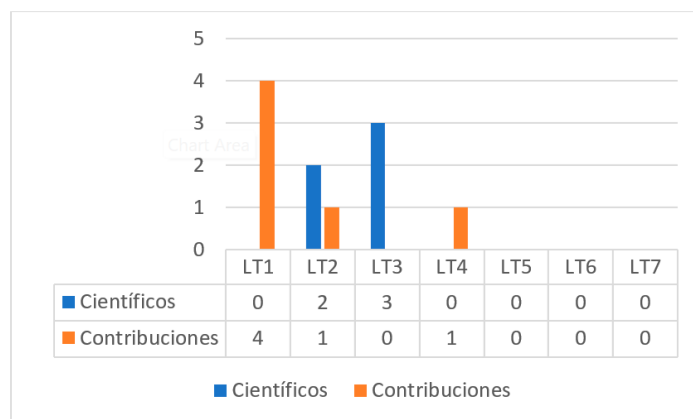


Figura 16. Cantidad de RV asociadas a la construcción del conocimiento científico para cada LT de la muestra
Fuente: elaboración propia

largo del tiempo (símbolos de Dalton, publicación de Lavoisier, modelo de Kernel, teoría del átomo cúbico de Lewis y escala de electronegatividades de Pauling).

4.3.3. Actividades para ser realizadas por los estudiantes

Las RV que acompañan las actividades que se proponen a los estudiantes tanto a lo largo del capítulo como al finalizar el mismo, se vinculan con “actividades de lápiz y papel” (43% del total de RV de esta categoría) como escribir, completar tablas, reacciones químicas o esquemas y/o dibujar estructuras de Lewis; con experimentos (48%) como registrar resultados experimentales y/o experimentar con materiales, procedimientos o resultados que se muestran en la RV; con investigaciones escolares (2%) a través de analizar las RV proporcionadas y con videos (7%) mediante enlaces externos a los que se accede con códigos o direcciones web indicadas en la RV. En la Figura 17 graficamos las frecuencias absolutas para las categorías mencionadas, incluyendo la tabla de valores para cada libro de texto. Como se puede

visualizar, todos los libros de la muestra incluyen RV asociadas con “actividades de lápiz y papel” y con experimentos, pero LT2 es el único que incluye una RV asociada con una investigación escolar y LT5 presenta varios enlaces a videos externos.

5. Conclusiones

En esta investigación hemos logrado caracterizar una muestra de representaciones visuales asociadas al enlace químico, incluidas en los libros de texto argentinos analizados. En cuanto al número, notamos una importante diferencia en la cantidad incluida en los diferentes libros de texto de la muestra. Esto evidencia que la importancia asignada a su uso para ilustrar el tema no coincide para todas las propuestas editoriales.

Focalizamos el análisis en tres aspectos: el formato, el nivel y la función didáctica de la representación. En cuanto al formato, encontramos en la mayoría de los libros de texto un predominio de RV puras sobre las híbridas que combinan formatos. Para las puras notamos que predominan en orden de frecuencia decreciente los diagramas, las fotografías

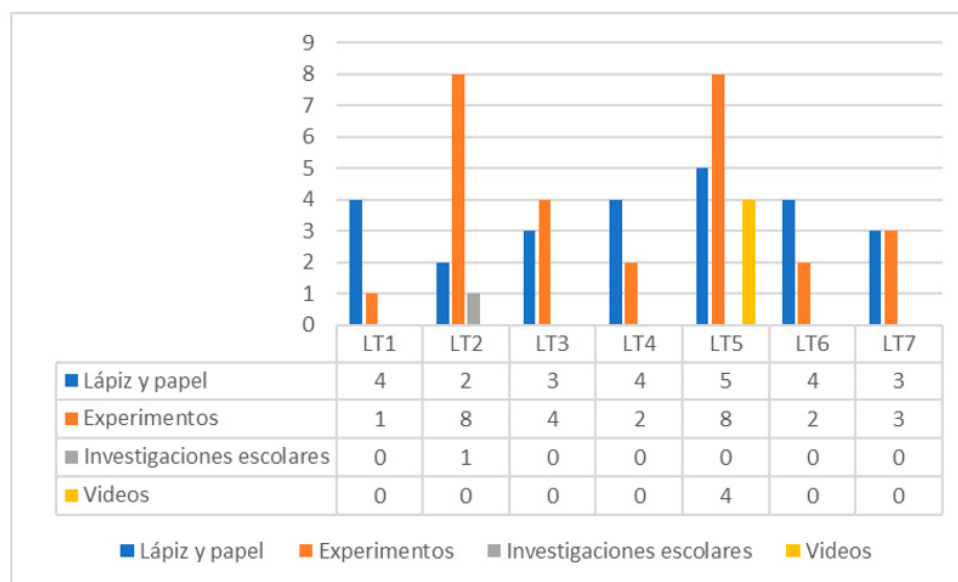


Figura 17. Cantidad de RV asociadas a actividades para cada LT de la muestra

Fuente: elaboración propia

y las tablas. Esto puede asociarse, por una parte, al contenido disciplinar específico que estamos analizando y a la utilidad de los diagramas de estructura atómica y molecular y de los diagramas de Lewis para el análisis de los enlaces, por sobre las fotografías de los compuestos. Por otra parte, se pone en evidencia que la tabla es el formato elegido por todos los autores de los libros de texto para reunir información de menor jerarquía de distinto tipo y favorecer que el lector establezca relaciones. Estos resultados implican diferencias frente a lo obtenido por el trabajo de LaDue *et al.* (2015), en cuanto a que en esta muestra priman los diagramas y no las fotografías. Respecto a las RV híbridas, dominan en frecuencia las tablas que se utilizan para organizar información expresada en diversos formatos que están subordinados a la misma. Consideramos que la exigencia para el estudiante en relación con la comprensión de una tabla como RV híbrida es alta, puesto que le demanda diferenciar, relacionar y jerarquizar la información contenida en ella. En los casos en los que se presentan RV en las que los formatos se combinan con jerarquía semejante, hemos relevado en todos los libros de texto la presencia de diagramas con ecuaciones y, en la mayoría de libros, fotografías con diagramas en los que se relacionan diferentes formas de representar un mismo compuesto. Las combinaciones de formatos se logran mediante distintos recursos gráficos que consisten en ubicar las partes de la RV al lado o una arriba de otra, aplicar recursos de acercamiento o *zoom* (a veces único y en otras ocasiones sucesivos) e incluir anotaciones en lenguaje verbal.

En relación con el nivel de representación, hallamos un predominio de representaciones correspondientes a un solo nivel, siendo estos los niveles simbólico o macroscópico en todos los libros de texto, puesto que optan en ocasiones por mostrar la forma en la que la química interpreta simbólicamente los compuestos (mediante ecuaciones o diagramas de Lewis, por ejemplo),

mientras que en otros momentos exponen dichos compuestos tal como se observan en la naturaleza o cotidianamente. Siguen en frecuencia las representaciones que focalizan la estructura submicroscópica de los compuestos y, en menor medida, aquellas que los presentan a través del microscopio. Cuando se combinan diferentes niveles, se destacan aquellas representaciones que conjugan los niveles submicroscópico y simbólico, las cuales se relacionan en todos los libros de texto con un mismo compuesto químico que se expone a través de diagramas y de ecuaciones.

En cuanto a la función didáctica, detectamos que en todos los libros de texto la mayoría de las RV se refieren a contenidos conceptuales, lo que pone en evidencia en qué aspecto está focalizado el aprendizaje esperado. Cuando las representaciones visuales se asocian a contenidos conceptuales, se refieren especialmente a entidades y no a procesos. Si bien el tema seleccionado, las uniones químicas, implica una actividad que se relaciona de manera directa con un proceso químico, en los textos de la muestra se muestra el resultado de dicho proceso mediante representaciones de los compuestos químicos en diferentes formatos y niveles. Igualmente, en todos los libros de texto se incluyen RV cuando se proponen actividades a los estudiantes que consisten, principalmente, en completar tablas y dibujar diagramas o esquemas. En mucha menor medida, se utilizan representaciones asociadas a la construcción del conocimiento científico, las cuales se vinculan con contribuciones de los científicos en relación con el tema disciplinar.

Si se analizan estos resultados a la luz de lo expresado por Caamaño Ros (2016a), quien afirma que las representaciones gráficas que se usan para la modelización del enlace químico son esenciales para una mejor conceptualización en términos de aprendizaje, surge la necesidad de abordarlas de modo específico en el aula de química. Al mismo tiempo, en coincidencia con

lo hallado por Williams y González (2020) sobre la amplia variedad de imágenes relacionadas con este contenido y la inclusión de un lenguaje simbólico, se deriva la importancia de que su análisis en el aula sea minucioso y permita examinar exhaustivamente las RV para promover el aprendizaje.

La propuesta presentada en este trabajo le podría ayudar al docente tanto para caracterizar las RV sobre el contenido disciplinar aquí seleccionado, como también para utilizar las categorías de análisis presentadas y con ellas examinar otras representaciones sobre diversos contenidos de química. Asimismo, analizar cada representación visual ayudaría al docente a plantear actividades que guíen a los estudiantes en la deconstrucción de los significados asociados y en la construcción de conocimiento científico escolar.

6. Referencias

- Balbiano, A., Deprati, A. M., Díaz, F. G., Franco, R., Iglesias, M. C. y Molinari Leto, N. (2021). *Física y Química 3. La materia: Su estructura y sus transformaciones: Los intercambios de energía. Santillana en línea*. Ediciones Santillana.
- Bergqvist, A., Drechsler, M., De Jong, O. y Rundgren, S. (2013). Representations of chemical bonding models in school textbooks-help or hindrance for understanding? *Chemistry Education Research and Practice*, 4, 589-606. <https://doi.org/10.1039/C3RP20159G>
- Bosack, A., Taddei, F., Amado, D., Alberico, P. y Gleiser M. (2014). *Fisicoquímica 3 ES. Huellas*. Estrada.
- Caamaño Ros, A. (2016a). Un enfoque para vencer errores y ambigüedades. Enlace químico y estructura de las sustancias en secundaria. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (86), 8-18.
- Caamaño Ros, A. (2016b). Secuenciación didáctica para el aprendizaje de los modelos de enlace. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (86), 39-45.
- Calderón, S., Di Francisco, K., Macchi, D., Marino, D., Olazar, L. y Rodríguez Use, M. G. (2015). *Físico-química II*. Tinta Fresca.
- Cerdeira, S. y Elsinger, E. (2010). *Ciencias Naturales y Tecnología. EGB Tercer Ciclo 9*. Aique Grupo Editor.
- Cheng, M. y Gilbert, J. K. (2009) Towards a Better Utilization of Diagrams in Research into the Use of Representative Levels in Chemical Education. En J. K. Gilbert y D. F. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 55-74). Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>
- Gilbert, J. K y Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. En J. K. Gilbert y D. F. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 1-10). Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>
- González Felipe, M. E. (2018). *El Enlace Químico en la Educación Secundaria. Estrategias didácticas que permitan superar las dificultades de aprendizaje*. [Tesis doctoral]. Universidad de Castilla, La Mancha. <https://ruidera.uclm.es/items/30f384fc-fbca-4116-b709-d1aa47249f36>
- LaDue, N. D., Libarkin, J. C. y Thomas, S. R. (2015). Visual representations on high school biology, chemistry, earth science, and physics assessments. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 818-834. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9566-4>
- Levy Nahum, T., Mamlok-Noaman, R., Hofstein, A. y Taber, K. (2010). Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education*, 46(2), 179-207. <https://doi.org/10.1080/03057267.2010.504548>
- Matus, L., Benarroch, A. y Perales, F. J. (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), 153-176. <https://ensciencias.uab.cat/article/view/v26-n2-matus-benarroch-perales>
- Matus, L., Benarroch, A. y Nappa, N. (2011). La modelización del enlace químico en libros de texto

- de distintos niveles educativos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 178-201. https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/ART9_Vol10_N1.pdf
- Maturano, C. (2018). *El manual escolar en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales: análisis de representaciones sociales y aspectos didácticos de su utilización en la escuela secundaria*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- Méndez Pérez, J. D. y Ballesteros Correa, Y. (2021). *Cambios en los niveles de representación de los estudiantes a través de la modelización analógica en la enseñanza del enlace químico*. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Manizales, Colombia.
- Moreno Martínez, L. (2015). Enlazando didáctica e historia de la ciencia: clasificaciones y modelos de las uniones químicas en los libros de texto de física y química de secundaria (2007-2016). *Educació Química EduQ*, (21), 45-53. <https://raco.cat/index.php/EduQ/article/view/319935>
- Nielsen, W. y Yeo, J. (2022). Introduction to the special issue: Multimodal meaning-making in science. *Research in Science Education*, 52, 751-754. <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-022-10051-z>
- Ordenes-Piña, R., Arellano, M., Jara, R. y Merino, C. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educación química*, 25(1), 46-55. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70523-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70523-3)
- Pochne, J. (2018). *Física y Química 3. Estructura atómica. Reacciones químicas y nucleares. Intercambios de energía. Serie Savia*. SM.
- Schonholz, T., Bazo, R., Rubinstein, J., Parieti, E. e Ipucha, C. (2017). *Física y Química: los intercambios de energía, la estructura atómica, las uniones químicas e intermoleculares, las reacciones químicas y nucleares. Serie Avanza*. Kapelusz.
- Serrano, A. E., Edelsztejn, V., Rivas, L. y Alonso, J. I. (2017). *Físicoquímica 3. La naturaleza corpuscular de la materia. Las transformaciones de la materia. Los intercambios de energía. Serie Llaves*. Estación Mandioca.
- Tang, K. S. (2023). Distribution of visual representations across scientific genres in secondary science textbooks: analysing multimodal genre pattern of verbal-visual texts. *Research in Science Education*, 53, 357-375. <https://doi.org/10.1007/s11165-022-10058-6>
- Tsui, C. Y. y Treagust, D. F. (2013). Introduction to multiple representations: Their importance in biology and biological education. En D. F. Treagust y C. Y. Tsui (Eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 3-18). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
- Unsworth, L. (2021). Infografías científicas en secundaria: complejos de significados multimodales en ensambles compuestos verbales-visuales. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 58(2), 1-19. <http://dx.doi.org/10.7764/PEL.58.2.2021.9>
- Williams, S. y González, F. (2020). Enlace químico: representaciones en Textos Escolares Chilenos. *Educación Química*, 31(4), 122-130. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.4.70850>

