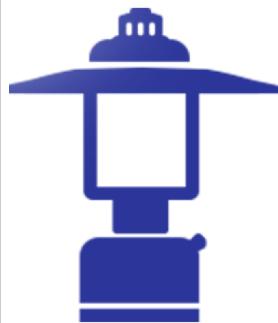


ANÁLISIS MULTIMODAL DE REPRESENTACIONES VISUALES DEL ENLACE QUÍMICO EN TEXTOS ESCOLARES COLOMBIANOS



MULTIMODAL ANALYSIS OF VISUAL REPRESENTATIONS OF CHEMICAL BONDING IN COLOMBIAN TEXTBOOKS

María Victoria Peña^{1*}

E-mail: mvpena@correo.unicordoba.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3127-2749>

Danny J. Lorduy²

E-mail: dlorduyflorez@correo.unicordoba.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8355-6669>

¹Universidad de Córdoba, Colombia.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Peña, M. V., y, Lorduy, D.J. (2025). Análisis multimodal de representaciones visuales del enlace químico en textos escolares colombianos. *Revista Conrado*, 21(107), e4549.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo analizar comunicacionalmente las imágenes sobre enlace químico en textos colombianos mediante principios de la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (TCAM). Se utilizó un enfoque cualitativo basado en análisis de contenido, empleando redes sistémicas como instrumento metodológico para examinar 20 imágenes seleccionadas de cinco libros de educación secundaria, tres digitales y dos impresos. El estudio reveló que el 95% de las imágenes analizadas cumplía con el principio multimedia de Mayer, mientras que solo el 10% implementaba los principios de contigüidad espacial y segmentación. Predominaron significativamente las imágenes con función explicativa, particularmente las de carácter interpretativo. A pesar del incremento en la incorporación de ilustraciones explicativas, se identificó la necesidad de mejorar la claridad y utilidad de las representaciones visuales para facilitar la construcción de modelos mentales adecuados en los estudiantes. El análisis concluyó que resulta imperante desarrollar estrategias de alfabetización visual que permitan a los estudiantes interpretar activamente los niveles representacionales en educación química. Se recomendó que los docentes seleccionen cuidadosamente las imágenes y promuevan actividades que fomenten la integración de información verbal y visual, guiando a los estudiantes en la interpretación de imágenes en tres niveles: explícito, implícito y conceptual, además de fomentar la metacognición sobre el procesamiento cognitivo de información multimodal.

Palabras clave:

Aprendizaje multimedia, Alfabetización visual, Educación química, Enlace químico, Representaciones visuales, Textos educativos colombianos.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the communicational nature of chemical bonding images in Colombian textbooks using principles from the Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML). A qualitative approach based on content analysis was used, employing systemic networks as a methodological tool to examine 20 images selected from five secondary school textbooks, three digital and two printed. The study revealed that 95% of the analyzed images complied with Mayer's multimedia principle, while only 10% implemented the principles of spatial contiguity and segmentation. Images with explanatory functions predominated significantly, particularly those of an interpretive nature. Despite the increase in the incorporation of explanatory illustrations, a need was identified to improve the clarity and usefulness of visual representations to facilitate the construction of adequate mental models in students. The analysis concluded that it is imperative to develop visual literacy strategies that allow students to actively interpret representational levels in chemical education. It was recommended that teachers carefully select images and promote activities that encourage the integration of verbal and visual information, guiding students in interpreting images at three levels: explicit, implicit, and conceptual, in addition to fostering metacognition about the cognitive processing of multimodal information.

Keywords:

Multimedia learning, Visual literacy, Chemical education, Chemical bonding, Visual representations, Colombian educational texts.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0.

Vol 21 | No.107 | noviembre-diciembre | 2025
Publicación continua
e4549



INTRODUCCIÓN

La química es una ciencia que utiliza representaciones visuales para su comprensión (Chamizo, 2018; Lorduy y Naranjo, 2020; Raviolo, 2017, 2019; Talanquer, 2023). Las representaciones comprenden todo tipo de construcciones dentro de sistemas expresivos, que pueden incorporar diversos sistemas de escritura, incluyendo números, simbolismos notacionales, representaciones en tres dimensiones, elementos gráficos, estructuras en red, diagramas, esquemas y otras formas similares. Según (Lorduy y Naranjo, 2020; Talanquer, 2023), el aprendizaje de la química involucra diferentes formas de representación; lo macro (lo tangible, explícito y concreto), submicro (lo intangible e implícito) y simbólico (expresiones literales y numéricas). Las conexiones entre ellas, resultan particularmente complejas para los estudiantes, lo que hace imprescindible emplear diversas imágenes y representaciones para facilitar su enseñanza y aprendizaje (Sjöström et al., 2020). Sin embargo, no todas las imágenes son igualmente útiles para fines educativos, debido a que su efectividad dependerá de la calidad y el valor educativo de las mismas (Raviolo, 2019). Por tanto, las representaciones visuales son cruciales para el aprendizaje de conceptos químicos en donde las imágenes forman lenguaje científico, permitiendo visualizar lo invisible. Sin embargo, pese a estas complejidades, en educación química, el concepto de enlace resulta particularmente complejo por su naturaleza abstracta y su inusual dependencia de estos niveles representacionales. Su comprensión requiere que los estudiantes visualicen procesos que ocurren a nivel atómico y molecular, lo que hace imprescindible el uso de imágenes y representaciones adecuadamente diseñadas para facilitar su enseñanza y aprendizaje (Sjöström et al., 2020). Por ello, existe un notable vacío de conocimiento en cuanto a la aplicabilidad contextualizada del concepto de enlace químico en sectores productivos como la agricultura, especialmente en el contexto educativo colombiano. Este vacío resulta problemático considerando que Colombia posee una economía con fuerte componente agrícola y que la comprensión de los enlaces químicos es fundamental para entender procesos agrícolas como:

1. La química de suelos y la interacción iónica entre nutrientes y partículas del suelo
2. Los mecanismos de acción de fertilizantes y agroquímicos
3. La formación de enlaces en moléculas orgánicas presentes en cultivos
4. Los procesos bioquímicos de fotosíntesis y respiración celular en plantas

5. Las interacciones entre pesticidas y sistemas biológicos

Es en esa necesidad que las representaciones visuales del enlace químico en los textos educativos revisten de importancia, debido a que rara vez establecen conexiones explícitas con estos contextos aplicados, lo que dificulta que los estudiantes perciban la relevancia práctica de estos conceptos. Esta descontextualización contribuye a una visión fragmentada del conocimiento químico, donde los conceptos teóricos aparecen desvinculados de su aplicación en sectores económicamente relevantes para el país. Ante la situación planteada, esta investigación busca abordar esta brecha analizando cómo se representan visualmente los conceptos de enlace químico en textos colombianos y analizando en qué medida estas representaciones promueven o no la comprensión del concepto y su potencial aplicación en diversos contextos, empleando para ello los principios de la clasificación de las imágenes de acuerdo a sus funciones comunicacionales y la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (TCAM) como marco analítico.

Clasificación de las imágenes de acuerdo a sus funciones comunicacionales

Las imágenes pueden cumplir distintas funciones comunicacionales, siendo algunas más útiles que otras para el aprendizaje (Clark y Lyons, 2011; Raviolo, 2019). Las imágenes decorativas o meramente representacionales de objetos no aportan mucho valor didáctico ni pedagógico. En cambio, las imágenes con funciones explicativas resultan mucho más ventajosas (Figura 1). Según Clark y Lyons (2011) estas incluyen las imágenes organizacionales, que representan relaciones cualitativas entre conceptos; las relacionales, que muestran relaciones cuantitativas entre variables; las transformacionales, que ilustran cambios de un objeto a lo largo del tiempo o espacio; y las interpretativas, que hacen visibles relaciones o fenómenos no evidentes. De igual forma, las imágenes nomencláticas, que asocian el contenido a visualizaciones de otro ámbito para facilitar su recuerdo, y las de tipo motivacional o humorístico, también pueden ser útiles, aunque su interpretación suele depender más del contexto cultural y lingüístico (Raviolo, 2019).

En la enseñanza química, la clasificación de imágenes revela estrategias comunicativas importantes (Chamizo, 2018; Lorduy y Naranjo, 2020; Raviolo, 2017, 2019; Talanquer, 2023). Por ejemplo, las imágenes decorativas, aunque atractivas, no aportan significado conceptual sobre entidades que subyacen en la constitución de las sustancias. Las representacionales, como diagramas de átomos o moléculas, ofrecen una visión realista de

estructuras submicroscópicas (Gilbert y Treagust, 2009). Las explicativas resultan fundamentales en el sentido que, si hablamos de las organizacionales, estas pueden abordar conceptos como tipos de enlaces. En cambio, las relacionales comparan propiedades moleculares; las transformacionales ilustran procesos como reacciones o cambios químicos, y las interpretativas descomponen mecanismos complejos como los enlaces químicos que intervienen en procesos de formación de nuevas sustancias. Las nemotécnicas ayudan a memorizar estructuras moleculares mediante asociaciones visuales. Esta taxonomía permite a docentes y estudiantes comprender cómo las representaciones gráficas median la comprensión de fenómenos químicos abstractos.

Fig 1: Funciones comunicacionales de las imágenes.



Fuente: Elaboración propia, en base a (Clark y Lyons, 2011).

Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer (TCAM)

Esta teoría fue propuesta por Mayer (2009, 2019), se basa en tres supuestos representados en la Figura 2. En primera instancia está el canal dual (procesamiento de información en canales visual y auditivos separados), el de capacidad limitada de cada canal, y el de procesamiento activo, que implica que las personas se involucran activamente en su aprendizaje seleccionando y organizando la información relevante e integrando las representaciones mentales entre sí y con su conocimiento previo. La TCAM sostiene que los estudiantes logran un aprendizaje más profundo y significativo cuando se les presenta la información combinando palabras e imágenes de manera coherente y bien integrada, en lugar de emplear únicamente palabras o texto escrito (Mayer, 2019; Raviolo, 2019). Esta teoría plantea un aporte importante debido a que promueve la comprensión del aprendizaje de conceptos químicos al demostrar que la información se asimila mejor cuando se presenta mediante palabras e imágenes simultáneamente. Debido a esto, se reconoce que el cerebro procesa información verbal y visual por canales separados, permitiendo una integración más profunda del conocimiento químico. La clave está en combinar texto e imágenes de manera significativa, evitando la sobrecarga cognitiva. Los principios de multimedia sugieren que los estudiantes construyen modelos mentales más sólidos cuando pueden relacionar representaciones verbales y visuales, trascendiendo la mera memorización o mecanización algorítmica (Raviolo, 2017, 2019). Los estudiantes se encuentran motivados y activos confeccionando simulaciones numéricas y respondiendo preguntas del tipo ¿»qué pasa si...? La visualización simultánea de las cantidades experimentales iniciales y finales, y de la relación estequiométrica, permite hacer frente a concepciones alternativas de los estudiantes. Palabras clave: Estequiometría, enseñanza, simulación, hoja de cálculo, barra de desplazamiento Abstract A sequence of activities is presented for use in the teaching of stoichiometry by means of simple spreadsheets that have the scroll bar incorporated as an interactive resource. Using this method as an alternative to routine ways of doing exercises, students will become more motivated and active, setting up numerical simulations and answering questions like »What happens if...? Simultaneous visualization of initial and final experimental quantities, and of the stoichiometric relation, makes it possible to deal with students' alternative conceptions. INTRODUCCION La estequiometría es uno de los núcleos conceptuales centrales de la química dado que se ocupa de los aspectos cuantitativos de la reacción química. Por su complejidad los estudiantes presentan dificultades que van más allá de cuestiones matemáticas (como el dominio de la proporcionalidad). Esta teoría desafía los métodos tradicionales de enseñanza, promoviendo una aproximación más dinámica e interactiva al aprendizaje químico.

Fig 2: Modelo cognitivo del Aprendizaje Multimedia



Fuente: Elaboración propia en base a (Mayer, 2009).

Principios del aprendizaje multimedia: desafíos didácticos coyunturales

Dado que la química es una ciencia visual con un contenido educativo complejo y abstracto (Raviolo, 2019); en este sentido, para aplicar la teoría de Mayer (2009) mediante imágenes comunicacionales se considera útil el uso de mediaciones tecnológicas que permitan procesar, almacenar, sintetizar, recuperar y difundir conceptos químicos de forma apropiada y matizada. Por tanto, de la teoría de Mayer (2009) se desprenden 12 principios con importantes implicancias para la enseñanza de la química (Tabla 1).

Tabla 1: Principios de Aprendizaje Multimedia

PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN
Principio Multimedia (P.M.)	Combina palabras e imágenes para facilitar un mejor aprendizaje en comparación con el uso de solo palabras.
Principio de Contigüidad espacial (P.C.)	Coloca las palabras y las imágenes relacionadas cerca una de la otra en la pantalla.
Principio de Temporalidad (P.C.)	Presenta las imágenes y sus textos al mismo tiempo.
Principio de Señalización (P.S.)	Utiliza elementos gráficos para indicar donde prestar más atención.
Principio de Segmentación (P.Seg.)	Despliega el contenido en secciones cortas
Principio de Pre-Entrenamiento (P. Pre-E.)	Introduce conceptos, antes de mostrar los contenidos.
Principio de Modalidad (P.Mod.)	Utiliza narración en lugar de texto escrito para explicar gráficos o imágenes.
Principio de la Coherencia (P.C.)	Elimina elementos irrelevantes, tales como imágenes, sonidos o palabras, que no contribuyan directamente al aprendizaje del contenido principal.
Principio de la Redundancia (P.R.)	Evita presentar el mismo contenido a través de texto escrito y narración simultáneamente. Es más efectivo usar solo la narración o el texto.
Principio de Personalización (P.P.)	Presenta la información en un estilo conversacional en lugar de formal.
Principio de Voz (P.V.)	Utiliza una voz humana y natural en lugar de una voz sintética o robótica.
Principio de la Imagen (P.I.)	La inclusión de la imagen del hablante en la pantalla no necesariamente mejora el aprendizaje, por lo que no siempre es necesario mostrar al instructor.

Fuente: Elaboración propia en base a (Mayer, 2009).

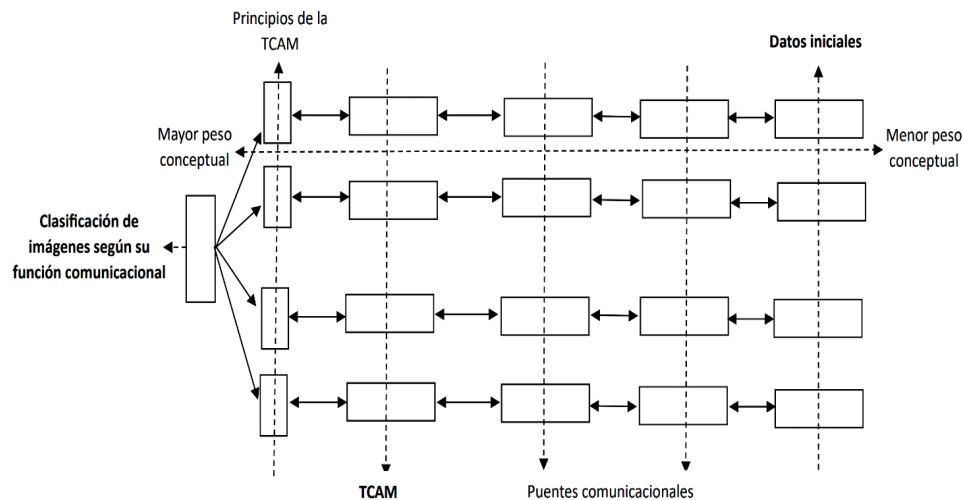
MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo desde un enfoque cualitativo y se concreta en un análisis de contenido de tipo descriptivo e interpretativo sobre los recursos multimedia (palabras e imágenes orientadas a fomentar aprendizajes) asumidos más o menos explícitamente en los libros de texto. Como instrumento se utilizaron las redes sistémicas (Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo, 2021; Bliss et al., 1979), como una herramienta para ordenar y analizar datos cualitativos proveniente de los libros. Las redes permitieron ir más allá del significado literal de las palabras e imágenes, buscando relaciones entre los datos y el marco teórico del estudio. Los datos se transforman en evidencias cuando se interpretan a la luz de las teorías planteadas (Lorduy, 2023) a systematic literature review (SLR). En nuestro caso particular, se tomaron afirmaciones extraídas de libros de texto de química escolar como datos, y se emplearon conceptos de los principios de la TCAM y la clasificación de las imágenes de acuerdo a sus funciones comunicacionales. La estructura de la red emerge tanto de la selección de datos guiada por los objetivos, como de los términos teóricos que orientan su lectura e interpretación.

La red sistémica sitúa en su extremo izquierdo los principios de la TCAM, mientras que en el extremo derecho se encuentran los datos iniciales, es decir, las afirmaciones textuales y las imágenes clasificadas según su función comunicativa, extraídas directamente de dichos libros. Con el objetivo de establecer una correlación entre los datos y la teoría, hemos elaborado una serie de proposiciones que denominamos: puentes comunicacionales. Estas nos permiten acoplar los aspectos teóricos y empíricos, buscando relaciones específicas entre el sistema compuesto por los principios de la TCAM y la clasificación de imágenes según su función comunicativa. De esta manera, al realizar una lectura horizontal de la red, observando las diferentes afirmaciones e imágenes que la configuran, se aprecia cómo la carga conceptual va en aumento de derecha a izquierda. Los puentes comunicacionales actúan como artefactos conceptuales que nos permiten argumentar que los datos encontrados se vinculan adecuadamente en algún principio

de la TCAM y en una clasificación de la imagen según su función comunicativa. La figura 3 representa una parte de la estructura de nuestra red sistémica, ilustra gráficamente la configuración descrita anteriormente.

Fig 3: Estructura de la red sistémica



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron las siguientes fases: F1: Se seleccionaron los libros para el estudio. El análisis se realizó con un total de 5 libros de educación química de básica secundaria y media, 3 en formato digital y 2 impresos. F2: Se caracterizaron 20 imágenes de los libros atendiendo a los principios de Mayer y funciones comunicacionales de Clark y Lyons, y, F3: Se analizaron los resultados de la caracterización, identificando presencias y recurrencias teniendo en cuenta la red sistémica. En la Tabla 2 se describen los libros de texto seleccionados para la investigación.

Tabla 2: Libros de texto seleccionados para la investigación

Título	Editorial-año	Nivel educativo	Páginas del capítulo	Código para identificarlo
Hipertexto Química 1	Santillana S.A. 2010	Educación media	76-83	L1
Aulas sin fronteras	Paulina Zuleta Jaramillo-2018	Básica secundaria	71-73	L2
Guías Didácticas de Ciencias Naturales	Abel Mendoza Ruiz -2022	Educación media	228-230	L3
Química 1	Grupo editorial Norma-2003	Educación media	89-94	L4
Química Inorgánica 1	Norma-2018	Educación media	70-74	L5

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS-DISCUSIÓN

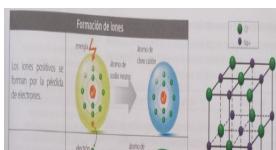
La tabla 3 se plantean las proposiciones que conforman un desplazamiento horizontal en la red sistémica desarrollada durante nuestra investigación. En este caso particular, hemos seleccionado una unidad de análisis. La estructura de la red sistémica sitúa en un extremo la afirmación con la máxima carga conceptual, proveniente de la TCAM cumpliendo a cabalidad. En el extremo opuesto, se encuentra la información con la mínima carga conceptual, que corresponde al dato crudo o inicial extraído directamente del libro de texto analizado. Entre estos dos extremos, se han formulado una serie de afirmaciones intermedias, denominadas puentes comunicacionales, que permiten establecer una correlación gradual entre los aspectos teóricos y empíricos. Estas afirmaciones buscan vincular de manera específica las proposiciones encontradas en el texto con los principios de la TCAM y la clasificación de las imágenes según su función comunicacional.

La Tabla 3 presenta un ejemplo de la red sistémica utilizada en el análisis, mostrando cómo se conectan los principios teóricos con los datos empíricos a través de los denominados “puentes comunicacionales”. En esta tabla se observa un análisis de una imagen explicativa de tipo relacional que cumple con el Principio Multimedia (P.M.) de Mayer.

Este análisis refleja una aproximación crítica a la interpretación de imágenes químicas que coincide con lo que Gilbert y Treagust (2009) han denominado como “alfabetización representacional” en ciencias. El uso de puentes comunicacionales como herramienta analítica permite vincular la teoría con los datos observados, proporcionando un marco interpretativo coherente para evaluar el valor didáctico de las imágenes.

La imagen analizada se clasifica como “representacional”, lo que significa que está diseñada para ofrecer una representación de un objeto o una idea, en este caso, una red cristalina de los iones de sodio y cloruro. Esta clasificación es consistente con Clark y Lyons (2011), quienes distinguen entre diferentes tipos de imágenes según su función comunicativa. Como señala Raviolo (2019) las imágenes con función explicativa son particularmente valiosas en la enseñanza de las ciencias, ya que facilitan la comprensión de conceptos abstractos mediante la visualización de relaciones que no son evidentes a simple vista. El ejemplo específico de red sistemática presentada evidencia cómo una imagen de estructura cristalina cumple con el principio multimedia al combinar textos e imágenes, promoviendo así un aprendizaje más profundo que el que se lograría con solo texto.

Tabla 3: Libros de texto seleccionados para la investigación

Clasificación de imagen	TCAM	Puentes comunicacionales	Dato inicial
La imagen es representacional porque ofrece una representación de un objeto o una idea.	Principio Multimedia (P.M.): Combina palabras e imágenes para facilitar un mejor aprendizaje en comparación con el uso de solo palabras.	Las imágenes representacionales, muestran la representación de un objeto o una idea, facilitan la comprensión de conceptos complejos.	<p>El texto se refuerza con el uso de imágenes representacionales, pues estas ofrecen una representación del concepto red cristalina favoreciendo el entendimiento de la información.</p>  <p>Los iones positivos se forman por la pérdida de electrones.</p> <p>Los iones negativos se forman por la ganancia de electrones.</p> <p>Los iones se representan con el símbolo del elemento del cual provienen seguido de la carga de la carga del ion como superíndice. Por ejemplo, el catión sodio se escribe Na^+ porque al perder un electrón, el número de protones es superior al número de electrones por eso se indica que tiene dos cargas positivas. El anión Cl^- indica una carga negativa porque recibió un electrón.</p> <p>Como resultado de esta atracción se forma un agregado hidrofóbico (laminar) cristalino y se dice que el compuesto es cristalino [7].</p>

Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a (Química inorgánica 1, página 73)

En la Tabla 4, se sintetiza las imágenes encontradas que cumplen con los principios de Mayer (2009). Los datos revelan patrones significativos en el diseño de materiales educativos para la enseñanza del enlace químico en Colombia. El hallazgo más destacado es que el 95% de las imágenes analizadas (19 de 20) cumplen con el Principio Multimedia, lo que indica un reconocimiento generalizado entre los autores de textos de la importancia de combinar palabras e imágenes para facilitar el aprendizaje. Sin embargo, como advierte Talanquer (2011), cuando establece que la simple inclusión de imágenes no garantiza un aprendizaje efectivo si estas no están adecuadamente diseñadas e integradas con el texto.

Resulta preocupante que, solo el 10% de las imágenes cumplen con los principios de contigüidad espacial y segmentación. Esta deficiencia puede impactar negativamente en el aprendizaje, ya que como señala Mayer (2011), la proximidad espacial entre texto e imagen y la segmentación adecuada del contenido son factores críticos para reducir la carga cognitiva y facilitar la construcción de modelos mentales coherentes. Autores como Johnstone (1991) enfatizaron que la química presenta desafíos particulares debido a la necesidad de coordinar representaciones en los niveles macro, submicro y simbólico, lo que hace aún más crucial la aplicación adecuada de estos principios.

La variación en la aplicación de los principios entre los diferentes libros analizados (L1-L5) revela inconsistencias en el diseño de materiales educativos para la enseñanza de la química en Colombia. Por ejemplo, mientras que todos los libros implementan adecuadamente el principio multimedia, existen diferencias significativas en la aplicación de otros

principios como temporalidad y preentrenamiento. Estas inconsistencias podrían explicarse por lo que Gabel (1999) identificó como la falta de un marco teórico coherente para guiar el diseño de materiales educativos en ciencias.

Tabla 4: Puentes comunicacionales en los datos encontrados en los libros según la TCAM.

Código	Cantidad de imágenes por principio de aprendizaje multimedia						Observaciones
	P.M	P.C.	P.T.	P.S.	P.Seg.	P.Pre-E.	
L1	5	0	5	2	1	0	Se analizaron 5 imágenes. De las 5, todas cumplen con el principio de multimedia y temporalidad.
L2	3	0	0	3	0	3	Se analizaron 3 imágenes. De las 3, todas cumplen con el principio de multimedia y señalización.
L3	4	0	2	2	1	2	Se analizaron 4 imágenes. De las 4, todas cumplen con el principio de multimedia.
L4	4	1	3	2	0	0	Se analizaron 5 imágenes. De las 5, solo 4 cumplen con el principio de multimedia.
L5	3	1	0	2	0	1	Se analizaron 3 imágenes. De las 3, todas cumplen con el principio de multimedia.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la TCAM e imágenes comunicacionales se encontró que, de las 20 imágenes analizadas, 19 cumplen con el principio de multimedia (95%), 11 cumplen con el principio de señalización (55%), es decir, las imágenes utilizan elementos gráficos para indicar donde prestar más atención (Tabla 5). En esta se presenta la distribución de las imágenes según sus funciones comunicacionales, revelando un predominio significativo de imágenes con función explicativa en todos los libros analizados, con especial énfasis en las de carácter interpretativo.

Este hallazgo es consistente con las recomendaciones de Raviolo (2019), quien ha enfatizado que las imágenes expositivas son particularmente valiosas para el aprendizaje de la química debido a su capacidad para hacer visibles fenómenos y relaciones no evidentes. El predominio de imágenes interpretativas (12 de 14 imágenes expositivas) sugiere un reconocimiento por parte de los autores de textos de la importancia de visualizar conceptos abstractos como el enlace químico.

Tabla 5: Imágenes encontradas según su función comunicacional.

Código	Cantidad de imágenes por cada función comunicacional				Observaciones
	Dec.	Rep.	Exp.	Nem.	
L1	1	1	3	0	Se analizaron 5 imágenes. De las 3 que se encuentran como expositivas, son específicamente de carácter interpretativo.
L2	0	0	3	0	Se analizaron 3 imágenes, clasificadas como expositivas y específicamente de carácter interpretativo.
L3	1	0	3	0	Se analizaron 4 imágenes. De las 3 de carácter expositivo (2 interpretativas y 1 organizacional)
L4	1	1	3	0	Se analizaron 5 imágenes. De las 3 de carácter expositivo (2 interpretativas y 1 organizacional)
L5	0	1	2	0	Se analizaron 3 imágenes. Las 2 de carácter expositivo son específicamente interpretativas.

Nota: Las abreviaturas corresponden a cada función comunicacional mostrada en la Figura 1.

Fuente: Elaboración propia.

¹Sin embargo, la presencia de imágenes meramente decorativas o representacionales (3 de cada tipo en el total de la muestra) indica que aún persiste la inclusión de elementos visuales con limitado valor didáctico. Como advierten Mayer (2019); Raviolo (2019), las imágenes decorativas pueden distraer la atención y aumentar la carga cognitiva sin

contribuir significativamente al aprendizaje. Esta observación coincide con el principio de coherencia de Mayer, que recomienda eliminar elementos irrelevantes que no contribuyen directamente al objetivo de aprendizaje.

Otra imagen que se analizó, ilustra la disposición de los iones de sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-) y cómo se produce la transferencia de electrones para formar tales iones. La imagen mostrada en la Figura 4 cumple con el principio de multimedia, el cual describe que la información es presentada a través de texto e imagen.

Fig. 3. Representación enlace entre los iones, sodio Na^+ y cloruro Cl^- .

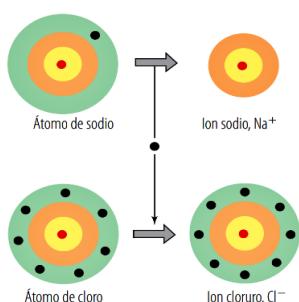


Figura 61. Enlace entre el ion Na^+ y el ion Cl^- .

4.2 El enlace iónico

La máxima estabilidad para un átomo se consigue cuando este adquiere la configuración del gas noble más próximo. Por ello, cuando les es posible, los átomos captan o ceden electrones a fin de conseguir su estabilidad. Como consecuencia resultan unas partículas que reciben el nombre de **iones**.

Un ion es la partícula que se obtiene cuando un átomo o un grupo de átomos capta o cede electrones con objeto de adquirir la configuración de un gas noble (figura 61). Si un átomo gana electrones queda cargado negativamente, y si los cede queda cargado positivamente. Por consiguiente, existen dos tipos de iones:

- **Anión** o ion cargado negativamente.
- **Catión** o ion cargado positivamente.

Los iones se representan mediante el símbolo del elemento o los elementos y un superíndice colocado a la derecha indicando el número de cargas eléctricas y su signo. Por ejemplo, el ion sodio se representa como Na^{1+} ; el ion sulfuro es S^{2-} , el ion amonio es NH_4^+ ; el ion carbonato es CO_3^{2-} , etc.

El **enlace iónico** consiste en la unión de iones con cargas de signo contrario, mediante fuerzas de tipo electrostático.

Fuente: Elaboración propia en base a (Hipertexto química 1, p. 76).

Además, se cumple con el principio de temporalidad, ya que el texto se presenta al tiempo con su respectiva imagen. También, se intenta mostrar la transferencia de electrones del átomo de sodio al átomo de cloro, usando una línea y flecha, cumpliendo así con el principio de señalización. Aunque la imagen es útil para entender los enlaces iónicos a nivel molecular, no muestra claramente cómo aplicar el concepto en un contexto específico.

De forma similar, la imagen mostrada en la Figura 4, muestra una representación visual del proceso de formación del enlace covalente entre diferentes átomos. Específicamente, se ilustra la formación de moléculas de Cloro, Oxígeno y Nitrógeno a través de la representación de los átomos y la distribución de sus electrones. De acuerdo con los principios de Mayer se cumplen: Principio de multimedia, temporalidad y segmentación, este último con secciones claramente diferenciadas, que permiten abordar los temas de manera progresiva y evitar la sobrecarga cognitiva (Sweller, 2008).

Fig. 4. Representación de los enlaces covalentes (sencillo, doble y triple)

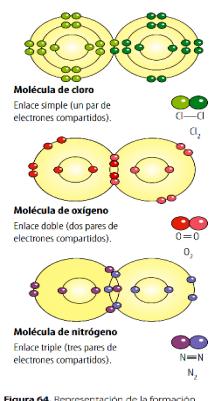


Figura 64. Representación de la formación de enlaces covalentes sencillo, doble y triple.

4.3 El enlace covalente

El enlace entre átomos iguales o entre átomos que difieren poco en el carácter electronegativo no quedan explicados mediante el enlace iónico. Para explicar la formación de sustancias tales como Cl_2 , H_2 , NH_3 , ..., **Gilbert Newton Lewis** (1875-1946), físico y químico norteamericano, sugirió en 1916 que los átomos pueden alcanzar la estructura estable de gas noble compartiendo pares de electrones. Los enlaces que mantienen unidos a sus átomos para formar las moléculas se llaman **enlaces covalentes** y las sustancias obtenidas, **sustancias covalentes**.

4.3.1 Formación de sustancias covalentes

El enlace covalente consiste en la unión de átomos al compartir uno o varios pares de electrones. Por ejemplo, cuando se forma la molécula de hidrógeno H_2 (cada átomo de H tiene una valencia de 1) se une a otro átomo de hidrógeno y sólo a uno para formar la molécula diatómica H_2 . Es evidente que, siendo totalmente iguales los dos átomos, no puede suponerse que uno de ellos arraigue el electrón al otro para conseguir la estructura electrónica del gas noble más próximo (He). Es más lógico suponer que ambos átomos comparten sus dos electrones, actuando dicho par de electrones como unión entre los dos átomos y consiguiendo así la estructura de gas noble.

4.3.2 Representación de un enlace covalente

Cuando intentamos representar un enlace o construir fórmulas de compuestos es de mucha utilidad la notación propuesta por Lewis. De acuerdo con este modelo, se escribe el símbolo del elemento y a su alrededor se coloca un punto (•) por cada electrón que existe en el último nivel de energía del átomo. Cada par de electrones compartidos se considera un enlace y se puede representar por una linea que une los dos átomos.

Fuente: Elaboración propia en base a (Hipertexto química 1, página 78)

La imagen intenta facilitar la comprensión de un concepto químico abstracto como el enlace covalente. Al visualizar la configuración electrónica y la compartición de electrones entre los átomos, la imagen ayuda a interpretar los principios subyacentes a este tipo de enlaces. Esto coincide con lo encontrado en la imagen mostrada en la Figura 5, en donde se utiliza una combinación de diagramas, esquemas y texto explicativo (principio multimedia), lo que facilita la comprensión de los conceptos de interacciones por atracción ion-dipolo.

Fig. 5. Representación Interacciones por atracciones ion-dipolo

4.5.4 Interacciones por atracciones ion-dipolo

Los iones de una sustancia pueden interactuar con los polos de las moléculas covalentes polares. Así, el polo negativo de una molécula atrae al ion positivo y el polo positivo interactúa con el ion negativo; las partes de cada molécula se unen por fuerzas de atracción de carga opuesta (figura 76). Por ejemplo, en el proceso de disolución del cloruro de sodio (NaCl) en agua, cada ion Na^{1+} se rodea de varias moléculas de agua por el polo negativo (polo -) y cada ion Cl^- se rodea de varias moléculas de agua por el polo positivo (polo +).

Se dice entonces que estos iones están solvatados o hidratados siempre y cuando el solvente usado sea el agua.

Generalmente las sales iónicas con cationes de carga (+1) son fácilmente solubles en agua, pero las que tienen iones polivalentes (carga superior a +1) son insolubles o poco solubles, pues la interacción ion-dipolo no puede romper la red cristalina.

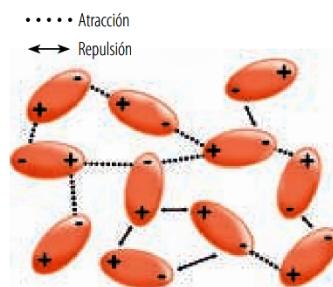


Figura 76. La hidratación de los compuestos iónicos se ve facilitada por las interacciones ion-dipolo.

© Santillana | 83

Fuente: Elaboración propia en base a (Hipertexto química 1, página 83)

La presentación simultánea de las imágenes y sus explicaciones textuales mantiene la coherencia entre los elementos visuales y la información (principio de temporalidad). Además, el uso de flechas y colores diferenciados dirige la atención hacia los aspectos más relevantes, lo que mejora la comprensión del contenido (principio de señalización). Aunque la imagen presenta varios de los principios multimedia de Mayer, su enfoque es general y no aborda su aplicación en un contexto práctico. Ante la situación planteada, autores como Parga (2018) señalan que, la enseñanza de la química se ha enfocado más en la memorización de definiciones que en la comprensión profunda y la aplicación de los conceptos en contextos prácticos. En lugar de priorizar la simple memorización de información, el proceso de aprendizaje debería facilitar la comprensión significativa de los principios químicos y su vinculación con problemas y situaciones concretas. Por tanto, la distribución de funciones comunicacionales varía entre los diferentes libros, lo que refleja diferentes enfoques pedagógicos y concepciones sobre el papel de las imágenes en la enseñanza de la química. Por ejemplo, el L2 presenta exclusivamente imágenes explicativas, mientras que otros libros incluyen una mezcla de diferentes tipos de imágenes. Esta variabilidad podría explicarse por lo que Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) han descrito como diferentes modelos didácticos que coexisten en la enseñanza de las ciencias, cada uno con sus propias concepciones sobre cómo se aprende y cómo se debe enseñar.

Es importante destacar que la ausencia total de imágenes nemotécnicas (0 en todos los libros) representa una oportunidad perdida para facilitar la memorización de conceptos complejos.

En cuanto al principio de temporalidad lo cumplen 8 imágenes (40%), se muestra el texto y la imagen al tiempo, 6 imágenes cumplen con el principio de preentrenamiento (30%), se explica el concepto y luego se muestra la imagen. Los principios de contigüidad y segmentación se presentan en 2 imágenes cada uno (10%). Estas últimas se utilizan poco, aunque son fundamentales, ya que permiten mostrar la información en secciones claramente diferenciadas, que permiten abordar los temas de manera progresiva y evitar la sobrecarga cognitiva.

CONCLUSIONES

El análisis de textos revela que, si bien se ha avanzado en la incorporación de imágenes explicativas en los textos colombianos sobre enlace químico, persisten desafíos significativos en cuanto a la calidad y diseño de estas representaciones visuales. Dicho de otra manera, requiere un mayor énfasis en la alfabetización visual para que los estudiantes puedan interpretar adecuadamente los diferentes niveles representacionales en la educación química.

De igual forma, si bien las imágenes organizacionales y representacionales son cruciales para mostrar relaciones cualitativas y ofrecer representaciones realistas de conceptos, algunas carecen de elementos gráficos fundamentales que podrían llevar a los estudiantes a construir modelos mentales erróneos y no se favorezcan la apropiación de los conocimientos científicos. Esto implica que, en una enseñanza efectiva del enlace químico, el docente debe seleccionar cuidadosamente las imágenes, brindando actividades que fomenten la integración de información verbal y visual.

El desarrollo de habilidades de pensamiento basadas en la TCAM es imperante para aprendizajes profundos sobre el enlace químico. Esto implica promover en los estudiantes la capacidad de modelización mediante representaciones verbales y pictóricas decodificando la información. Por tanto, se deben guiar en la interpretación de imágenes en tres niveles representacionales: i) Explícito: identificar los aspectos superficiales y perceptivos de las imágenes. ii) Implícito: comprender qué representa cada parte o entidad de la imagen y las convenciones simbólicas utilizadas y iii) Conceptual: identificar el propósito educativo global de la imagen y las ideas teóricas subyacentes. Por último, se debe fomentar la metacognición sobre el procesamiento cognitivo de información verbal y visual, concienciando sobre la necesidad de integrarla y vincularla con su contexto cercano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A., y Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 40-49. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452005>
- Amador-Rodríguez, R., y Adúriz-Bravo, A. (2021). ¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en los libros de química para la educación secundaria en América Latina? *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 11-31. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3272>
- Bliss, J., Ogborn, J., y Grize, F. (1979). The Analysis of Qualitative Data. *European Journal of Science Education*, 1(4), 427-440. <https://doi.org/10.1080/0140528790010406>
- Chamizo, J. A. (2018). El currículum oculto en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 12(4), 194. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2001.4.66325>
- Clark, R. C., y Lyons, C. (2011). *Graphics for learning* (2nd ed.). Pfeiffer.
- Gabel, D. L. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(2-4), 548-554. <https://doi.org/10.1021/ed076p548>
- Gilbert, J. K., y Treagust, D. F. (2009). Towards a Coherent Model for Macro, Submicro and Symbolic Representations in Chemical Education. En *Multiple representations in chemical education* (pp. 333-350). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_15
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Lorduy, D. J. (2023). Perspectivas multimetodológicas de investigaciones en educación científica: Una revisión desde dimensiones paradigmáticas. *Praxis & Saber*, 14(39), e15940-e15940. <https://doi.org/10.19053/22160159.V14.N39.2023.15940>
- Lorduy, D. J., y Naranjo, C. P. (2020). Percepciones de maestros y estudiantes sobre el uso del triplete químico en los procesos de enseñanza-aprendizaje. *Revista Científica*, 39(3), 324-340. <https://doi.org/10.14483/23448350.16427>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2.^a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Mayer, R. E. (2019). How multimedia can improve learning and instruction. En *The Cambridge Handbook of Cognition and Education* (pp. 460-479). <https://doi.org/10.1017/9781108235631.019>
- Parga, D. L. (2018). Investigaciones en Colombia sobre libros de texto de química: Análisis documental. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, 0(44). <https://doi.org/10.17227/ted.num44-8992>
- Raviolo, A. (2017). Simulando estequiometría con la hoja de cálculo: Uso de la barra de desplazamiento. *Journal of Science Education*, 18(1), 30-34. <http://www.chinakxjy.com/downloads/V18-2017-1/V18-2017-1-9.pdf>
- Raviolo, A. (2019). Imágenes y enseñanza de la Química. Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia. *Educación Química*, 30(2), 114. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67174>
- Sjöström, J., Eilks, I., y Talanquer, V. (2020). Didaktik Models in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 910-915. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01034>
- Sweller, J. (2008). Instructional implications of david c. Geary's evolutionary educational psychology. *Educational Psychologist*, 43(4), 214-216. doi:10.1080/00461520802392208
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry «triplet». *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Talanquer, V. (2023). ¿Qué hemos aprendido sobre el razonamiento de los estudiantes de química? *Educación Química*, 34(4), 3-15. <https://doi.org/10.22201/FQ.18708404E.2023.4.86364>