

Análisis de la iconicidad y las visiones del enlace químico que representan las imágenes de un libro de texto escolar en Chile

Javiera Soto Quiroz

Programa de Pedagogía para Profesionales,
Facultad de Educación, Universidad Alberto Hurtado, Santiago
jfsoto@uahurtado.cl

Resumen

El enlace químico es un concepto abstracto y complejo pero fundamental para comprender las propiedades físicas y químicas de las sustancias. Gran parte de las investigaciones referidas al abordaje del enlace químico en los libros de texto se han centrado tanto en el análisis del contenido como de las imágenes presentadas. En relación a los estudios sobre las imágenes del enlace químico contenidas en los libros de texto, éstos se han focalizado en el análisis de sus características y en el desarrollo de propuestas para su clasificación. En este estudio se presenta un análisis de las imágenes contenidas en un texto escolar chileno de distribución gratuita y vigente para el año 2023. Dichas imágenes se analizaron en función de su grado de iconicidad y de las visiones del enlace químico que representan. Los resultados de este estudio dan cuenta del predominio de imágenes con un alto grado de iconicidad o realismo, donde se utilizan con mayor frecuencia los modelos de bolas y varillas y dibujos figurativos para representar moléculas. Asimismo, se observa una alta prevalencia de la concepción estructural del enlace químico en dichas imágenes, donde éstos se presentan como entidades reales. Finalmente, se presenta una actividad de aprendizaje que pretende superar algunas dificultades reportadas en los hallazgos de este estudio.

Palabras clave: libro de texto, imágenes, enlace químico, iconicidad, visiones.

Introducción

Es un hecho ampliamente reconocido que la comprensión del enlace químico resulta fundamental para entender las propiedades de las sustancias y su comportamiento químico (Hendry, 2008; Lombardi & Labarca, 2010; García, 2018). No obstante, su alto grado de abstracción y simbolismo lo convierten en un tema altamente desafiante de enseñar y aprender. En este sentido, Caamaño (2003) señala que el estudiantado construye sus ideas sobre el enlace químico a partir del discurso docente y de los libros de texto, lo que da cuenta de la relevancia del análisis de este recurso didáctico para contribuir a su mejora e idoneidad didáctica.

En los libros de texto escolares en Chile y en la mayoría de los países, se suelen enseñar varias teorías y modelos para explicar el enlace químico, siendo los más comunes:

1. *Modelo de Enlace Covalente:* Este modelo explica cómo los átomos comparten electrones para formar enlaces covalentes. Se suele presentar mediante diagramas de puntos, donde se representan los electrones de valencia de los átomos que se comparten para formar los enlaces.

2. *Modelo de Enlace Iónico*: En este modelo, los átomos transfieren electrones para formar iones con carga opuesta, que luego se atraen entre sí debido a las fuerzas electrostáticas. Se representan mediante diagramas de Lewis o estructuras de puntos que muestran la transferencia de electrones.
3. *Modelo de Enlace Metálico*: Este modelo se aplica principalmente a los metales, explicando cómo los átomos en un sólido metálico comparten sus electrones de valencia en una "nube" electrónica común, lo que permite explicar algunas propiedades características de los metales, como su conductividad eléctrica y térmica.
4. *Teoría de Lewis*: Esta teoría, propuesta por Gilbert N. Lewis, se centra en la idea de que los enlaces químicos se forman cuando los átomos comparten electrones, de manera que cada átomo alcance una configuración electrónica similar a la de un gas noble.
5. *Teoría del Enlace de Valencia (TEV)*: Esta teoría establece que la superposición de los orbitales atómicos semillenos produce un aumento en la densidad electrónica entre los dos núcleos, lo que determina la formación de enlaces localizados.
6. *Teoría de la Repulsión de Pares de Electrones de Valencia (TREPEV)*: Esta teoría ayuda a explicar la geometría de las moléculas, considerando cómo los pares de electrones alrededor de un átomo central se repelen entre sí, determinando la disposición espacial de los átomos en una molécula.
7. *Teoría de la Hibridación*: Esta teoría permite explicar las geometrías predichas por la TREPEV, proponiendo que los orbitales atómicos se pueden combinar para formar nuevos orbitales híbridos que permiten satisfacer las demandas geométricas de un sistema.
8. *Teoría de Orbitales Moleculares (TOM)*: Esta teoría explica el enlace químico en términos de la combinación y superposición de orbitales atómicos para formar orbitales moleculares deslocalizados en toda la molécula.

Por otra parte, desde la filosofía de la química se visualiza un interés específico por abordar los problemas conceptuales que surgen en esta disciplina, como el debate respecto a la naturaleza del enlace químico. En este sentido, desde un enfoque realista ontológico los enlaces son entidades reales en el mundo, que presentan existencia independiente. No obstante, desde un enfoque constructivista los enlaces se consideran construcciones o modelos conceptuales sin existencia independiente en el mundo real y que permiten describir, predecir y explicar el comportamiento de las sustancias. Mientras una postura de pluralismo ontológico sostiene que existen varias maneras válidas de conceptualizar los enlaces químicos, lo que implica reconocer la existencia de diferentes naturalezas o interpretaciones ontológicas para el enlace químico, sin privilegiar una sobre las demás. De esta forma, desde la filosofía de la química se reconocen tres visiones o concepciones del enlace químico, cuyas interpretaciones ontológicas se describen a continuación:

1. *Visión estructural*: Esta visión tiene sus raíces en la teoría química estructural que se inició con los trabajos de August Kekulé en 1860, donde las moléculas se reconocen como entidades compuesta de dos o más átomos que se mantienen unidos. Desde esta concepción, los enlaces covalentes se reconocen como “las partes materiales de la molécula responsables de las relaciones submoleculares espacialmente situadas entre los centros atómicos individuales” (Labarca, 2016). Los enlaces propuestos por Lewis en 1916 se enmarcan dentro de esta visión, ya que se describen como un par de electrones compartidos por dos núcleos atómicos, a fin de completar ocho electrones en la capa de valencia de los átomos involucrados y alcanzar una estructura de gas noble (Lombardi & Martínez, 2012). Bajo esta concepción, también se sitúan las ideas de Linus Pauling, quién en 1930 se encargó de vincular las estructuras electrónicas estáticas de Lewis (pares de electrones compartidos) con las ideas de la TEV, donde los electrones de los átomos que constituyen las moléculas tienen una ubicación localizada, es decir, se encuentran asociados a un núcleo particular. De esta manera, la superposición de los orbitales atómicos produce un aumento en la densidad electrónica entre los dos núcleos, lo que determina la formación del enlace. En términos generales, desde esta visión los enlaces químicos se reconocen como entidades submoleculares reales y localizadas que mantienen unidos a los átomos en una molécula.
2. *Visión cuántica*: Esta visión se desarrolla a partir del surgimiento de la mecánica cuántica en la década de 1920, cuando emerge un nuevo ámbito científico conocido como química cuántica (Lombardi & Martínez, 2012). Bajo esta concepción, se enmarca la TOM, donde Hund y Mulliken proponen un enfoque alternativo para resolver la ecuación de Schrödinger para una molécula. Bajo esta teoría, los enlaces covalentes también se forman por solapamiento de orbitales atómicos, lo que determina la formación de nuevos orbitales, conocidos como orbitales moleculares que pertenecen a toda la molécula. De esta manera, los electrones que forman los enlaces no están localizados en orbitales atómicos, sino en orbitales moleculares deslocalizados y no se pueden distinguir como entidades individuales. En este sentido, a medida que se consideran mayores efectos y condiciones de deslocalización de los electrones que proponen las ecuaciones mecánico-cuánticas, la concepción estructural del enlace químico se vuelve insostenible. Desde esta visión, los enlaces químicos pueden ser interpretados como construcciones conceptuales sin un referente ontológico real.
3. *Visión energética*: En esta visión, los enlaces químicos se pueden entender en términos de energía y estabilidad de las moléculas en lugar de entidades físicas localizadas. Esta concepción se sustenta en la termodinámica, específicamente en la ley de Hess, la que permite estimar la energía de los enlaces a partir de un cambio de entalpía. Desde esta visión, se reconoce que el enlazamiento es real, mientras que los enlaces no lo son (Hendry, 2008). De esta forma, se considera a los enlaces como conceptos o modelos teóricos útiles para explicar los fenómenos químicos en términos de la energía y la termodinámica.

Investigar sobre cómo se representan los enlaces químicos en los libros de texto escolares es importante por varias razones:

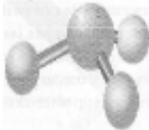
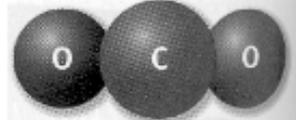
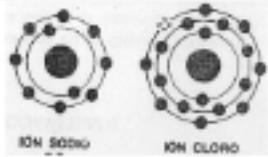
1. Claridad en la enseñanza: Los libros de texto son una fuente fundamental de información en la educación. Si la representación de los enlaces químicos no es clara o precisa, los estudiantes pueden tener dificultades para comprender los conceptos básicos de la química. Investigar cómo se presentan estos conceptos puede ayudar a identificar posibles áreas de confusión y mejorar la forma en que se enseña.
2. Base para el aprendizaje futuro: La química es una ciencia fundamental que sienta las bases para muchas otras disciplinas científicas. Una comprensión sólida de los enlaces químicos es esencial para abordar conceptos más avanzados en química, física, biología y otros campos relacionados. Si los libros de texto no presentan adecuadamente estos conceptos, los estudiantes podrían enfrentar dificultades en su aprendizaje futuro.
3. Desarrollo de habilidades críticas: Comprender y representar los enlaces químicos no solo es importante para la química, sino que también ayuda a desarrollar habilidades críticas como el pensamiento abstracto, el razonamiento lógico y la capacidad de visualizar estructuras moleculares en tres dimensiones. Estas habilidades son valiosas en muchas áreas más allá de la química.
4. Preparación para la educación superior y la investigación: Los estudiantes que planean continuar en campos científicos o técnicos necesitarán una comprensión sólida de los enlaces químicos. Si la representación en los libros de texto es inadecuada, los estudiantes podrían enfrentar dificultades en la educación superior y en la investigación científica.
5. Actualización y mejora curricular: La investigación sobre cómo se presentan los enlaces químicos en los libros de texto puede ayudar a identificar enfoques obsoletos o ineficaces en la enseñanza. Esta información puede ser utilizada por los educadores y diseñadores curriculares para mejorar los métodos de enseñanza y actualizar los materiales educativos.
6. Equidad educativa: Investigar cómo se abordan los enlaces químicos en los libros de texto también puede arrojar luz sobre posibles desigualdades en la educación. Es importante asegurarse de que los conceptos se presenten de manera clara y accesible para todos los estudiantes, independientemente de su origen o contexto.
1. En resumen, la investigación sobre cómo se representan los enlaces químicos en los libros de texto escolares en Chile es crucial para garantizar una educación de calidad en química y sentar las bases para el éxito académico y profesional de los estudiantes en diversas disciplinas.

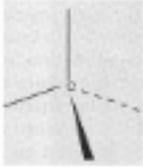
Metodología

La enseñanza del enlace químico en el currículum escolar chileno se aborda específicamente en el nivel de octavo básico. Por esta razón, se analizaron las imágenes presentes en un libro de texto escolar vigente y de distribución gratuita correspondiente a dicho nivel educativo.

Este estudio se realizó tomando como referencia las categorías de análisis propuestas por Matus et al. (2008) sobre el grado de iconicidad de los modelos de representación de las moléculas, lo que da cuenta del grado de realismo de una imagen por comparación con el objeto que representa. Así, las imágenes de menor grado de iconicidad -las menos realistas- exigirán un mayor conocimiento del código simbólico utilizado (Perales & Jiménez, 2002).

Tabla 1. Modelos de representación de moléculas correspondientes al grado de iconicidad

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Dibujo figurativo	Prima la representación orgánica, mostrando los objetos mediante la imitación de la realidad.	
Dibujo figurativo + signos	Representan acciones o magnitudes inobservables en un espacio de representación heterogéneo.	
Bolas y varillas	Es una representación tridimensional en la cual se indican los átomos mediante bolas y las uniones entre los mismos con varillas.	
Fusionado/empaquetamiento	Muestra en forma tridimensional los átomos unidos en forma compacta y sin indicar los enlaces entre los mismos.	
Bolas	Es una representación tridimensional en la que los átomos están unidos manteniendo su individualidad.	
Varillas	No se indican los átomos, sino sus enlaces. Es una representación tridimensional.	
Niveles electrónicos	Se representan los átomos con el núcleo y los electrones alrededor distribuidos según el nivel de energía.	
Lewis	Se representa cada átomo con su símbolo, rodeado de puntos que representan los electrones de valencia.	$\text{Na}^+ [: \ddot{\text{Cl}} :] \quad \text{H} \cdot \cdot \text{H}$
Diagrama de rayas	Vincula los átomos con una raya por cada par de electrones que comparten.	$\text{H} - \text{H}$
Combinación lineal de orbitales atómicos (CLOA)	Se superponen los extremos de los orbitales atómicos que intervienen en el enlace.	
Orbitales moleculares (OM)	Se representa el nuevo orbital molecular formado por la superposición de los orbitales atómicos.	

Cuñas	Es una representación tridimensional donde se indican los símbolos de los elementos y los enlaces que están en el plano del papel, hacia delante y hacia atrás del mismo.	
Molecular	Indica los átomos y la cantidad de los mismos que forman la molécula.	H₂O

Nota. De Matus, L., Benarroch, A. y Perales F. (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), p. 161.

Asimismo, cada imagen se analizó en función de la visión del enlace químico (estructural, cuántica o energética) que busca representar.

Tabla 2. Visiones del enlace químico

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Visión estructural	Los enlaces químicos son entidades submoleculares reales y localizadas que mantienen unidos a los átomos en una molécula (enfoque realista ontológico).
Visión cuántica	Los enlaces se consideran el solapamiento de orbitales atómicos que dan origen a orbitales moleculares deslocalizados. Los enlaces químicos son construcciones conceptuales sin un referente ontológico real (enfoque constructivista).
Visión energética	Los enlaces implican la estabilización energética de la molécula y se consideran conceptos o modelos teóricos útiles para explicar el fenómeno de enlazamiento términos de la energía y la termodinámica (enfoque constructivista).

Nota. Elaboración propia.

Resultados y conclusiones

A continuación se presentan los resultados del análisis de las imágenes contenidas en la lección 7 “¿De qué se compone la materia?”, subtema “Unidades atómicas” del libro de texto escolar “Ciencias Naturales 8° Básico” vigente para el año 2023 y distribuido gratuitamente por el Ministerio de Educación de Chile (Campbell, 2019). Dicho análisis se realizó en función de las categorías elaboradas por Matus et al. (2008), las que permitieron reconocer el grado de iconicidad de los modelos de representación de moléculas contenidos en las imágenes analizadas, y de las visiones del enlace químico (estructural, cuántica o energética) que se reconocen desde la filosofía de la química y que se expresan en las imágenes estudiadas.

1. Resultados obtenidos a partir del análisis del grado de iconicidad de los modelos de representación de moléculas en las imágenes analizadas

Las categorías que predominaron en este análisis fueron los modelos de bolas y varillas (n= 4; 31%), los dibujos figurativos (n= 3; 23%) y los modelos fusionados o empaquetados (n=3; 23%). Mientras que ninguna imagen fue clasificada en las categorías bolas, varillas, Lewis, diagrama de rayas, orbitales moleculares, cuñas y molecular. Estos hallazgos son similares a los reportados por Matus et al. (2008), donde se reconoce que los autores de los libros de textos suelen privilegiar el uso de modelos de bolas y varillas y de dibujos figurativos con el propósito de facilitar el aprendizaje de este concepto complejo y abstracto, aportando contextos de referencia a través del uso de analogías o la evocación de situaciones cotidianas,

por ejemplo, usar imágenes que evocan figuras humanas capaces de compartir o ceder electrones.

2. Resultados obtenidos a partir del análisis de las visiones del enlace químico que se expresan en las imágenes analizadas

La categoría que predominó en este análisis fue la visión estructural del enlace químico (n= 12; 92%), mientras una sola imagen representó la visión cuántica (n=1; 8%) y ninguna imagen hizo alusión a la visión energética del enlace. Estos resultados dan cuenta de que las imágenes que están presentes en el libro de texto analizado, muestran mayoritariamente a los enlaces como entidades submoleculares reales. Este hallazgo también puede ser analizado desde las finalidades o propósitos que persiguen los autores, quienes introducen el estudio de los enlaces químicos desde modelos más concretos y de menor complejidad conceptual, teniendo en consideración el nivel educativo al que está destinado el libro de texto.

Los resultados obtenidos permiten concluir que las imágenes del libro de texto escolar vigente para el nivel de 8° básico, presentan a los enlaces químicos utilizando modelos muy simplificados, lo que de acuerdo a Levy et al. (2008) permite explicar muchos de los errores conceptuales que manifiestan los estudiantes sobre el enlace químico, ya que la simplificación y generalización de los modelos utilizados en los libros de texto favorece la construcción de una visión limitada e incorrecta del enlace, originando impedimentos u obstáculos de aprendizaje. Asimismo, las imágenes analizadas dan cuenta de la transmisión de una visión estructural del enlace químico, lo que implica reconocer su existencia real, tema que desde la filosofía de la química todavía constituye un debate abierto. En este sentido, la ausencia de imágenes que den cuenta de la coexistencia de distintas visiones y ontologías del enlace químico limitan las posibilidades de desarrollar una comprensión adecuada y profunda de este concepto. Finalmente, en base a estos hallazgos se sugiere a los docentes realizar un análisis crítico de los libros de texto que utilizan en sus clases, especialmente de las imágenes, esto con el propósito de limitar el desarrollo de ideas alternativas y de una visión reduccionista o parcial del enlace químico.

Bibliografía

- Caamaño, A. (2003). Modelos híbridos en la enseñanza y en el aprendizaje de la química. *Alambique*, 35, 70-79.
- Campbell, E. (2019). *Texto del estudiante Ciencias Naturales 8° básico*. Ediciones SM Chile S.A
- García, G. (2018). Enlace químico, orbital y ontología. *Scripta Philosophiæ Naturalis*, 14, 93-109.
- Hendry, R. (2008). Two conceptions of the chemical bond. *Philosophy of Science*, 75(5), 909-920.
- Labarca, M. (2016). "Filosofía de la química". En Diccionario Interdisciplinar Austral, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. http://dia.austral.edu.ar/Filosofía_de_la_química
- Levy, T., Mamlok-Noaman, R., Hofstein, A. & Kronik, L. (2008). A new "bottom-up" framework for teaching chemical bonding. *Journal of Chemical Education*, 85(12), 1680-1685.

- Lombardi, O. & Labarca, M. (2010). Acerca del status ontológico de las entidades químicas: el caso de los orbitales atómicos. *Principia*, 14(3), 309–333.
- Lombardi, O. & Martínez, J. (2012). Entre mecánica cuántica y estructuras químicas: ¿a qué refiere la química cuántica? *Comscientiæ zudia*, 10(4), 649-70.
- Matus, L., Benarroch, A. & Perales F. (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.
- Jiménez, J. & Perales, F. (2002). La evidencia experimental a través de la imagen de los libros de texto de Física y Química. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 1(2), 114-129.

Anexo 1. Actividad de Aprendizaje

- Nivel educativo: 8° básico

- Objetivo de aprendizaje curricular (OA 14):

Usar la tabla periódica como un modelo para predecir las propiedades relativas de los elementos químicos basados en los patrones de sus átomos, considerando:

El número atómico.

La masa atómica.

La conductividad eléctrica.

La conductividad térmica.

El brillo.

Los enlaces que se pueden formar.

- Objetivo de aprendizaje de la actividad:

Integrar distintos modelos y visiones del enlace químico en el análisis de una imagen.

-Descripción de la actividad:

Actualmente, se discute en nuestro país sobre la incorporación del gas hidrógeno (H_2) como una fuente de energía limpia que ayudaría a reducir el uso de combustibles fósiles contaminantes, por lo que también se denomina hidrógeno verde. Pero ¿cuánto sabemos sobre esta molécula? A continuación, las y los invitamos a que reunidos en grupos respondan la siguiente pregunta:

¿Cómo podrían explicar, a nivel submicroscópico, el proceso de formación de la molécula de hidrógeno (H_2)?

Para elaborar es importante que integres los modelos representados en la imagen y que incorpores las siguientes ideas o conceptos: electrones de valencia, solapamiento de orbitales atómicos, orbitales moleculares, estabilidad energética.

