

# REFLEXIONES SOBRE LA DIDÁCTICA DE LAS REPRESENTACIONES MOLECULARES EN QUÍMICA ORGÁNICA

REFLECTIONS ON THE DIDACTICS OF MOLECULAR REPRESENTATIONS IN ORGANIC CHEMISTRY

RÉFLEXIONS SUR LA DIDACTIQUE DES REPRÉSENTATIONS MOLÉCULAIRES EN CHIMIE ORGANIQUE

**María Luz Núñez Morales<sup>1</sup>**  
**Cecilia Hernández Garcíadiego<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Universidad Autónoma de Querétaro

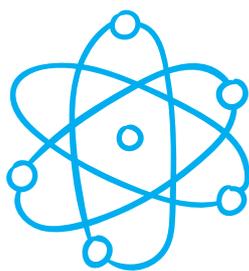
<sup>1</sup>Correo: [mnunez19@alumnos.uaq.mx](mailto:mnunez19@alumnos.uaq.mx)

<sup>1</sup>ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5346-2108>

<sup>2</sup>Correo: [qceciliahg@gmail.com](mailto:qceciliahg@gmail.com)

<sup>2</sup>ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7809-820X>





## RESUMEN

Existen al menos diez formas de representar una misma molécula; esta variedad dificulta el estudio de la química orgánica. ¿Por qué existen tantas maneras? ¿Qué problemas conlleva a la práctica docente? La complejidad de las moléculas orgánicas, así como sus reacciones, exige una variedad de modalidades de representación para comprender mejor los temas. La gama de representaciones es parte de la didáctica de química orgánica, y la finalidad de este artículo es ilustrarla utilizando moléculas comunes en la práctica didáctica e indicativas de las diferentes formas de representación semiótica.

**Palabras clave:** Didáctica de química, representación semiótica, moléculas.

## ABSTRACT

One of the great difficulties when studying organic chemistry are the many different ways of representing the same molecule. There are at least 10 forms of molecular representation. Why are there so many ways? What problems does it bring to the teaching practice? The complexity of organic molecules as well as their reactions makes it necessary to have a variety of forms of representation to better understand the subjects. The range of representations is part of the didactics of organic chemistry, the purpose of this article is to show that range using molecules that are common in didactic practice and indicative of the different forms of semiotic representation

**Keyword:** Chemistry didactics, semiotic representation, molecules.

## RÉSUMÉ

L'une des grandes difficultés lors de l'étude de la chimie organique réside dans les différentes manières de représenter une même molécule, au moins on peut dire qu'il existe 10 formes de représentation moléculaire. Mais pourquoi y a-t-il tant de façons ? Quels problèmes cela pose-t-il à la pratique de l'enseignement ? La complexité des molécules organiques ainsi que leurs réactions rendent nécessaire d'avoir des formes de représentation variées pour mieux comprendre les enjeux. L'éventail des représentations fait partie de la didactique de la chimie organique, le but de cet article est de montrer l'éventail des représentations utilisant des molécules courantes dans la pratique didactique et indicative des différentes formes de représentation sémiotique

**Mots-clés :** Didactique de la chimie; représentation sémiotique; molécules.

## INTRODUCCIÓN

### MARCO TEÓRICO

#### **REPRESENTACIÓN SEMIÓTICA EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA. LENGUAJE EN QUÍMICA.**

La semiótica se ocupa del estudio de los signos (Eco, 2000). *Signo* es todo sustituto signifiante de cualquier cosa. Es resultado provisional de reglas de codificación que establecen correlaciones transitorias entre los elementos. Una función semiótica puede definirse en sí misma y en relación con las propias posibilidades combinatorias dentro de contextos diferentes. La producción de signos es posible gracias a las reglas previstas por el código y con frecuencia este se

entiende no solo como regla de correlación, sino también como conjunto de reglas combinatorias. Así, al entrecruzamiento de las circunstancias y las presuposiciones se anuda el de los códigos y los subcódigos para convertir cada mensaje en una forma vacía a la que pueden atribuirse varios sentidos posibles; en otras palabras, la multiplicidad de los códigos y la indefinida variedad de los contextos hace que un mismo mensaje sea descifrable desde puntos de vista diferentes y por referencia a sistemas convencionales distintos.

Por su parte, Flamini (2012) menciona que el concepto de estructura molecular es central para la química, especialmente en los desarrollos de geometría molecular o estereoquímica. Las representaciones asociadas a describirla cobran un rol protagónico en la producción de aprendizajes significativos. Entre los obstáculos del aprendizaje de la química se encuentra el manejo del lenguaje altamente simbólico y formalizado; este incluye representaciones que ayudan a la comprensión de lo no observable, por ejemplo, la conectividad y distribución espacial de los átomos en una molécula.

La química resulta multimodal, ya que recurre de manera simultánea a diferentes lenguajes (Flamini, 2012):

- Verbal: descripción e interpretación de fenómenos.
- Visual: hechos macroscópicos observados y realizados en laboratorio.
- Gráfico: uso de modelos tridimensionales.
- Formal: uso de símbolos, fórmulas y reacciones.

A menudo se muestra una molécula a través de un dibujo o un

modelo (a veces más de uno). Los núcleos atómicos se indican con letras o esferas de plástico; los electrones que los unen, con líneas, puntos o varillas. Sin embargo, estas aproximaciones son útiles solo si entendemos a qué corresponden (Flamini, 2012). Por añadidura, la combinación de la semiótica con la teoría estructural y la hibridación del carbono ocasiona las diferentes formas de representación de moléculas orgánicas. Pero no solo nos atañen estos conceptos, sino también su relación con la didáctica de la química orgánica.

Para Villaseñor (2013), la identidad y la comunicación son esenciales en los procesos de enseñanza-aprendizaje. La química orgánica utiliza representaciones químicas llamadas *fórmulas* para identificar las moléculas en un lenguaje escrito. Estas contemplan tres niveles básicos de la estructura molecular:

**Composición:** Se refiere a los elementos presentes en la molécula y el número de átomos de cada uno. La fórmula se constituye por los símbolos de los elementos en el compuesto ordenados alfabéticamente (con excepción del carbono e hidrógeno, que se colocan al principio también por alfabeto) y con un subíndice en cada símbolo que indica el número de átomos de cada elemento.

1. **Constitución:** El tipo y número de enlaces. Se representa por las fórmulas semidesarrolladas, desarrolladas o de enlace-línea. En los tres casos, además de la información que expresa la fórmula molecular (punto anterior), se explicita cuáles átomos están unidos entre sí.

2. **Configuración:** Expone la disposición espacial de los átomos o de los grupos unidos a un átomo estereogénico. Para expresarla, se utilizan las representaciones estereoquímicas como las de Newman, de Fischer, de caballete o de silla y bote.
3. **Conformación:** Exhibe los distintos arreglos de una molécula obtenidos por el giro en torno a los enlaces sencillos. El impedimento estérico restringe estos giros según el volumen que ocupan los grupos unidos al carbono.

## NIVELES DE APRENDIZAJE EN LA QUÍMICA

En apariencia, la química es la ciencia de los sentidos (Lorenzo, 2010). Más vinculados con la técnica que con lo científico, desde sus orígenes los químicos se han valido de la percepción a través de la experiencia directa. No obstante, para comprender los fenómenos a su alrededor, se vieron obligados a trascender esa información sensorial y desarrollar complejos sistemas de símbolos. En la química, tal como la conocemos hoy, existen tres niveles de visualización: macroscópico, submicroscópico y simbólico. Nakamatxu (2012) explica que parte de la dificultad del aprendizaje de la química radica en que requiere múltiples niveles (Figura 1).

- El nivel macroscópico es la química recibida a través de los sentidos, la realidad observable, aspectos, olores, texturas, etc.
- El nivel submicroscópico se basa en modelos teóricos y comprende la estructura de la materia, las partículas básicas, los átomos, las moléculas y los

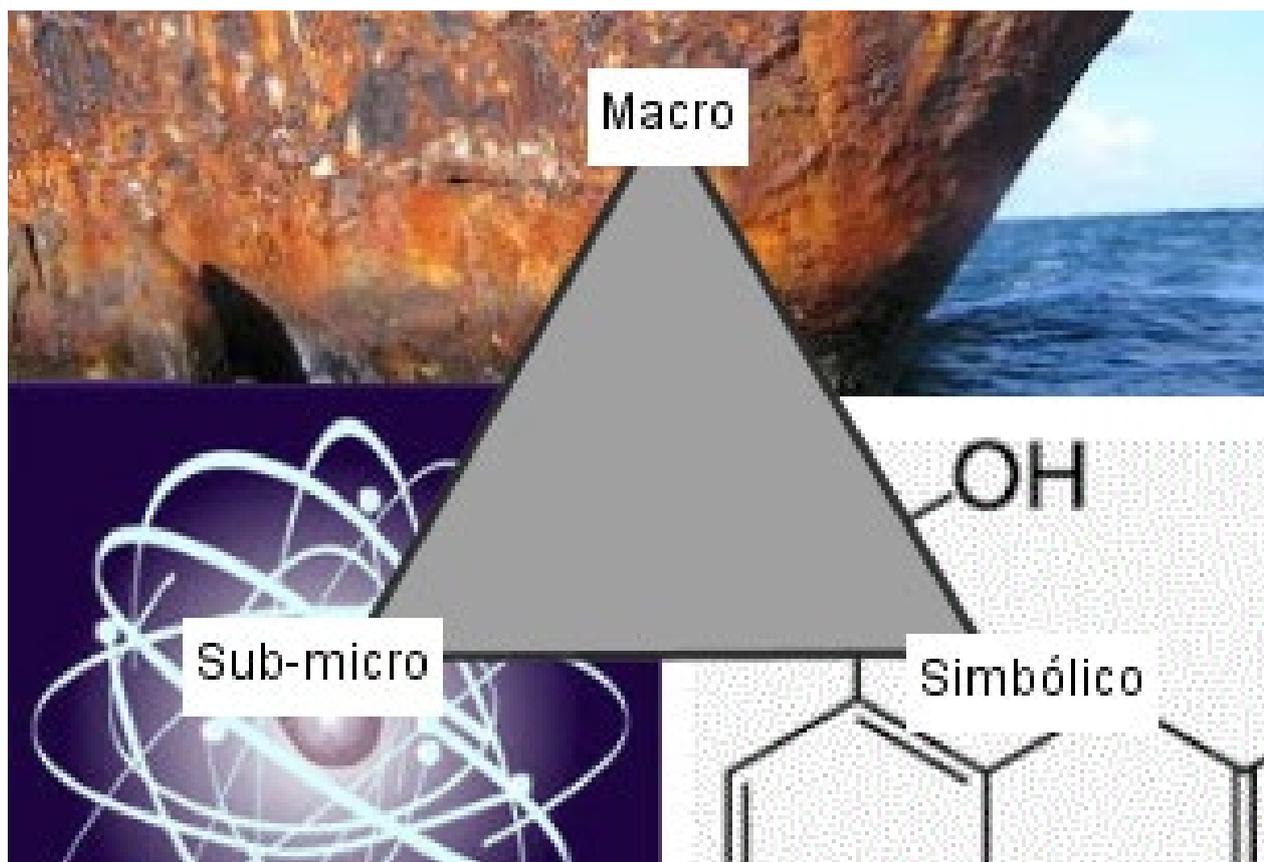


Figura 1. Niveles de aprendizaje de la química.

cristales. Es necesaria una gran capacidad de abstracción e imaginación.

- El nivel simbólico involucra la expresión de las sustancias, símbolos, fórmulas y ecuaciones mediante una nomenclatura que permita manifestar de forma clara los otros niveles.

### GEOMETRÍA TRIDIMENSIONAL DE MOLECULAS ORGÁNICAS

La teoría estructural, base de la química orgánica, se ha formado por la reunión de millones de datos sobre los compuestos orgánicos para explicar y comprender sus propiedades. Describe cómo y en qué orden se unen los átomos para formar moléculas y el modo de distribución de los electrones a su alrededor; también clasifica

las formas y tamaños moleculares. Desde este punto de vista, los símbolos de los compuestos nos permiten comprender las propiedades físicas y el comportamiento químico de un compuesto aun cuando no lo conocamos (Morrison y Boyd 1998).

### TETRAVALENCIA DEL CARBONO

El carbono se localiza en el grupo 14 (IV A) de la tabla periódica y tiene una peculiaridad: la posibilidad de formar cadenas de longitudes variadas con otros átomos de carbono. Esto explica la multitud de compuestos orgánicos existentes (Hernández, 2017).

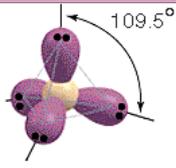
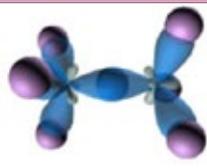
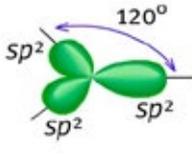
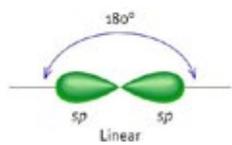
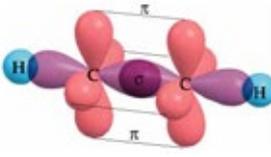
El átomo de C tiene 6 electrones distribuidos en dos niveles de

energía; su configuración electrónica es:  $1s^2, 2s^2, 2p_x^1, 2p_y^1$ . El primer nivel está completo con dos electrones y el segundo tiene exactamente la mitad de los electrones necesarios para completar su octeto, por lo tanto, es capaz de formar cuatro enlaces covalentes con los átomos vecinos para completar su octeto (Chang, 2021).

### HIBRIDACIONES DEL CARBONO

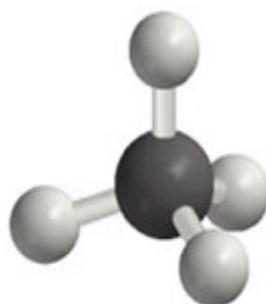
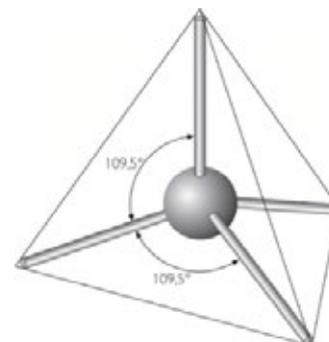
De acuerdo con evidencias experimentales, el carbono tiene una geometría espacial no plana (Chang, 2021), según el tipo de enlace con carbonos vecinos. Este hecho solo puede explicarse a través del concepto de hibridación (ver la Tabla 1).

Tabla 1. La hibridación y la geometría molecular

Hibridación	Orbitales atómicos que se hibridan	Orbitales obtenidos	Geometría y ángulo	Enlace y ejemplo
$sp^3$	1 orbital 2s 3 orbitales 2p: 2px, 2py, 2pz	4 orbitales híbridos $sp^3$		
$sp^2$	1 orbital 2s 2 orbitales 2p: 2px, 2py	3 orbitales híbridos $sp^2$ 1 orbital atómico 2p: 2pz		
$sp$	1 orbital 2s 1 orbital 2p 2px	2 orbitales híbridos $sp$ 2 orbitales atómicos 2p: 2py 2pz		

## GEOMETRÍA TRIDIMENSIONAL

Como se puede ver en la tabla 1, los enlaces dobles y triples del carbono pueden plasmarse en un plano, sin embargo, la geometría tridimensional del enlace sencillo C-C con hibridación  $sp^3$  es tetraédrica y su representación plana es complicada. El carbono se encuentra en el centro del tetraedro, y los 4 átomos vecinos en sus vértices. Esta geometría tridimensional dificulta dibujar los compuestos orgánicos en un plano y obliga a desarrollar las diferentes estrategias semióticas para graficar las moléculas orgánicas (Figura 2).

Modelo molecular del carbono  $sp^3$ 

Tetraedro

Figura 2. Geometría tridimensional del carbono con hibridación  $sp^3$ 

## ISOMERÍA

Una molécula es un agregado de por lo menos dos átomos en una configuración definida, mantenidos juntos por fuerzas interatómicas llamadas enlaces químicos (Recio 2012). Cada compuesto se identifica por una fórmula, pero algunos la comparten; a estos

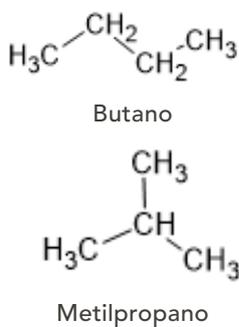
se les llama isómeros (del griego  $\text{ισο}$  = igual y  $\text{μεροσ}$  = parte). Los isómeros contienen igual número de las mismas clases de átomos, pero sus enlaces son distintos. Son compuestos diferentes porque sus estructuras moleculares divergen (Morrison y Boyd 1998).

La isomería constituye uno de los temas más significativos en la

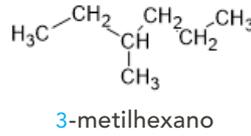
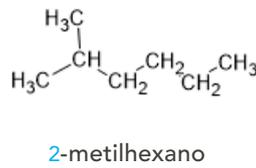
química orgánica. Su importancia radica en la diversidad de las moléculas de este tipo en la naturaleza y cuán desiguales pueden llegar a ser para el metabolismo de los seres vivos o las semejanzas que comparten en cuestión de propiedades fisicoquímicas de los materiales de uso común. Según lo anterior, los tipos de isomería se dividen en estructural y espacial:

**ISOMERÍA ESTRUCTURAL**

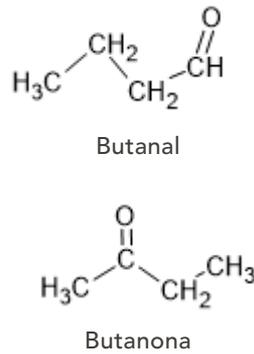
- **Isomería de cadena / esqueleto.** Los isómeros de este tipo difieren entre sí en la longitud de la cadena. Uno de ellos es lineal y los demás tienen cadenas más cortas con sustituyentes en ellas; es decir, presentan diversos esqueletos o estructuras. Por ejemplo, el butano y el metilpropano, ambos  $C_4H_{10}$ , se distinguen por la longitud de la cadena principal (Figura 3).
- **Isomería de posición.** La presentan aquellos compuestos en los que alguna ramificación o grupo funcional está unido a la cadena principal en diferente posición. El 2-metilhexano y el 3-metilhexano, ambos  $C_7H_{16}$ , difieren solo en el número que indica la posición de la ramificación (Figura 4).
- **Isomería funcional.** La de aquellos compuestos que, al tener conectividades de átomos alternativas, generan sus propios grupos funcionales en la cadena. El butanal y la butanona son aldehído y cetona respectivamente, ambos  $C_4H_8O$ . El nombre de estos isómeros varía en la terminación; esta indica el grupo funcional de la molécula (Figura 5).



**Figura 3.** Isomería de cadena.



**Figura 4.** Isomería de posición



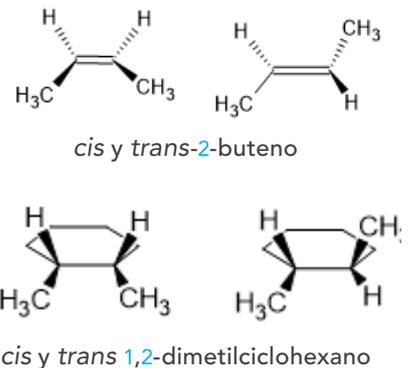
**Figura 5.** Isomería funcional.

**ESTEREOISOMERÍA O ISOMERÍA ESPACIAL**

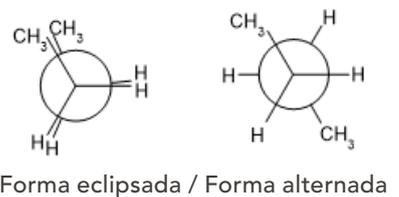
- **Isomería geométrica o cis-trans.** Se presenta cuando hay rotación impedida entre dos átomos de carbono, como en los dobles enlaces y los compuestos cíclicos. Se ejemplifica en el cis-2-buteno y el trans-2-buteno ( $C_4H_8$ ), así como en el cis-1,2-dimetilciclohexano y el trans-1,2-dimetilciclohexano ( $C_8H_{16}$ ). El prefijo que se agrega al nombre define estos compuestos (Figura 6).
- **Isómeros conformacionales.** Como los enlaces sencillos C—C tienen la libertad de rotar, dos isómeros conformacionales pueden interconvertirse sin ruptura de enlaces, solo por rotación. La energía de estos isómeros depende de si los sustituyentes están eclipsados o alternados. El nombre no cambia, es el mismo compuesto en dos estados energéticos

ocasionados por la interacción de los grupos vecinos (Figura 7).

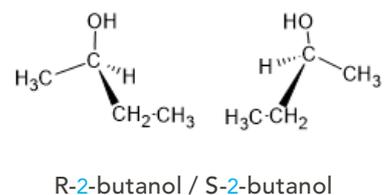
- **Enantiómeros o isómeros especulares.** Cuando la molécula contiene un carbono quiral, en el que los cuatro sustituyentes no son iguales. Los isómeros solo se distinguen por ser una imagen especular del otro. A uno de ellos se le denomina R (*rectus*) y al otro S (*sinister*) siguiendo la jerarquía de los grupos unidos al carbono quiral. Las propiedades físicas y químicas son iguales para ambos, a excepción de aquellas que dependen de dicha geometría. Los enantiómeros no se pueden interconvertir sin romper enlaces. Un ejemplo de enantiómeros es el 2-butanol, que existe en sus formas R y S (Figura 8).



**Figura 6.** Isomería geométrica.



**Figura 7.** Confórmeros del butano



**Figura 8.** Enantiómeros.

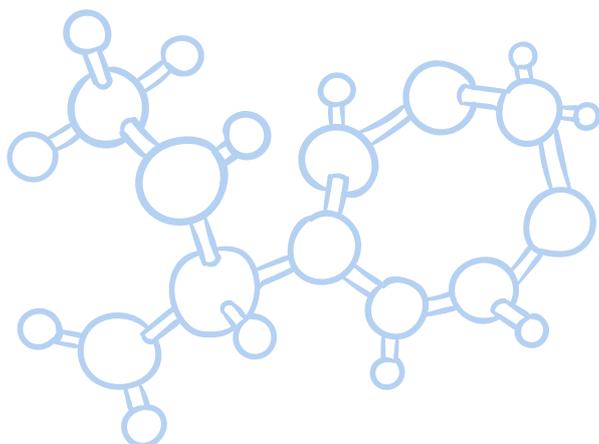
## METODOLOGÍA DIDÁCTICA

Para ilustrar la diversidad de formas de representación de una molécula, la composición y estructura de una sustancia, así como el tránsito de una forma a otra, se eligieron dos moléculas: la de serina y la de ciclohexano. La representación más favorable para el aprendizaje depende del tema a estudiar dentro de la química orgánica.

La serina es un aminoácido esencial en las cadenas de proteína de los organismos. El cuerpo humano debe sintetizarla porque mantiene en orden el sistema nervioso (Carey 2008). A pesar de su sencillez, esta molécula se seleccionó porque se adapta a casi todas las representaciones simbólicas. A continuación, se enlistan sus características.

- Cadena hidrocarbonada de solo tres carbonos;
- cuatro elementos: C, H, O y N;
- tres grupos funcionales: ácido carboxílico, amino y alcohol;
- un carbono quiral o asimétrico: cuatro grupos diferentes unidos al carbono.

El ciclohexano es una molécula cíclica. Sirve para explicar las diferentes conformaciones y la configuración geométrica *cis-trans* de un anillo de 6 átomos; este conocimiento es aprovechable cuando se estudian los carbohidratos que tienden a cerrarse en ciclos de 6 átomos, aunque uno de ellos no sea carbono sino oxígeno.



## DIVERSIDAD DE FÓRMULAS Y REPRESENTACIÓN DE MOLÉCULAS ORGÁNICAS

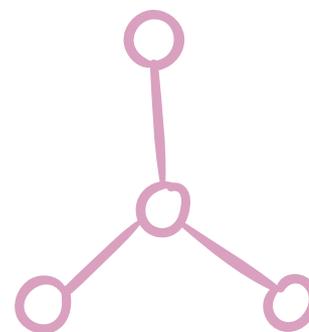
### FÓRMULAS MOLECULARES

#### FÓRMULA CONDENSADA O COMPACTA

En esta representación se coloca el símbolo del elemento y la cantidad de átomos presentes en la molécula. En química orgánica se inicia con el átomo de carbono seguido del átomo de H, posteriormente O, N, y demás elementos en orden alfabético. Por ejemplo, la fórmula molecular de la serina es  $C_3H_7O_3N$ ; dicho en lenguaje natural, la molécula de serina está formada por tres átomos de carbono, siete de hidrógeno, tres de oxígeno y uno de nitrógeno. Esta información es suficiente solo cuando se desea realizar cálculos de composición, masa molecular y estequiométricos.

#### FÓRMULAS MÍNIMA Y MOLECULAR

Para determinar la fórmula molecular de una sustancia, se realizan operaciones analíticas que primero determinan cualitativamente los elementos presentes y posteriormente analizan cuantitativamente la proporción de cada uno. Se obtiene entonces la fórmula empírica o mínima de la molécula; es decir, indica qué elementos hay y la relación mínima de números enteros entre sus átomos, pero no necesariamente el número real de átomos presentes en la molécula. Una fórmula molecular sí precisa el número de átomos de cada ele-



mento. La fórmula mínima del ciclohexano es  $CH_2$ , pero esta información solo indica que por cada átomo de carbono hay dos átomos de hidrógeno; hasta no determinar la masa molecular, es imposible saber que la fórmula molecular corresponde a seis veces el número de átomos de cada uno  $C_6H_{12}$ .

### FÓRMULAS ESTRUCTURALES

#### FÓRMULAS DESARROLLADAS O ESTRUCTURALES PLANAS

Indican en un plano la estructura de la molécula, se muestran todos los átomos y la forma de enlazarse mediante guiones sencillos, dobles o triples. Este tipo de fórmula no considera importantes los enlaces entre los átomos (Figura 9).

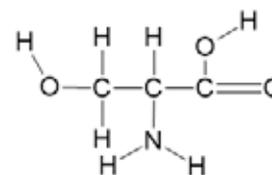
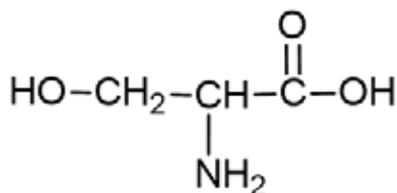
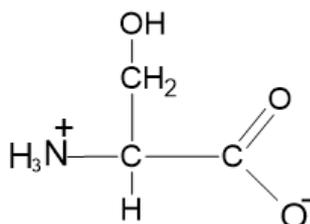


Figura 9. Fórmula desarrollada de la serina.

#### FÓRMULA SEMIDESARROLLADA

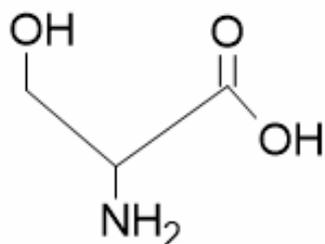
Como su nombre lo indica, es en parte desarrollada y en parte compacta. Evita mostrar enlaces que no son de interés para resaltar los que sí, por ejemplo, cuando se estudian los grupos funcionales o mecanismos de reacción. Puede mostrar los pares electrónicos o cargas en los elementos que los tienen. A falta de un editor de moléculas, puede escribirse de manera lineal (Figura 10).



**Figura 10.** Fórmulas semidesarrolladas de la serina.

**ESQUELETO CARBONADO**

El esqueleto carbonado de un compuesto se muestra en zigzag, se omiten los átomos de carbono e hidrógeno y se ilustran los enlaces. Cada pico de la cadena es un átomo de carbono y se sobrentiende que la molécula contiene los hidrógenos necesarios para cumplir con la tetravalencia del carbono. Cuando las moléculas contienen heteroátomos (átomos diferentes de carbono e hidrógeno), los vértices o los extremos de línea se reemplazan por el símbolo del heteroátomo, agregándole los hidrógenos que le corresponden. La rapidez de este modelo es útil cuando se requiere escribir la fórmula repetidas veces, aunque su uso exige una mayor abstracción (ver la Figura 11).



**Figura 11.** Fórmula de esqueleto carbonado de la serina.

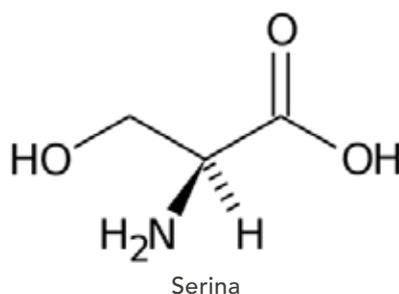
Por otra parte, las fórmulas poligonales zigzagueantes destacan los segmentos que las constituyen; es decir, indican los carbonos que forman el compuesto. Esa herramienta pedagógica corresponde en cierta medida a la conformación más estable de algunos compuestos, pero se contrapone a la geometría de otros (Cerón, 2013).

**REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO CUÑAS Y LÍNEAS PUNTEADAS**

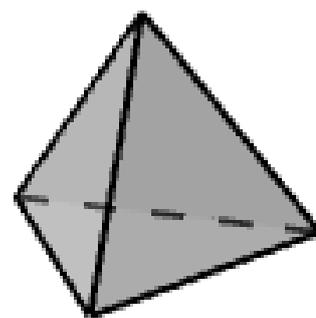
En este método, la orientación espacial de un átomo en el espacio se muestra usando tres tipos de líneas para denotar las uniones: simples, en forma de cuñas y punteadas.

- Una línea simple representa una unión que está sobre el plano del papel.
- Una cuña sólida representa una unión que sale hacia el frente del plano del papel.
- ..... Una cuña punteada o intermitente representa una unión que va hacia atrás del plano del papel.

Esta representación se utiliza en el estudio de temas como la hibridación, la geometría molecular, los centros asimétricos, la estereoisomería, y la actividad óptica, entre otros (Figura 12).



**Figura 12.** Representación tridimensional utilizando cuñas y líneas punteadas.

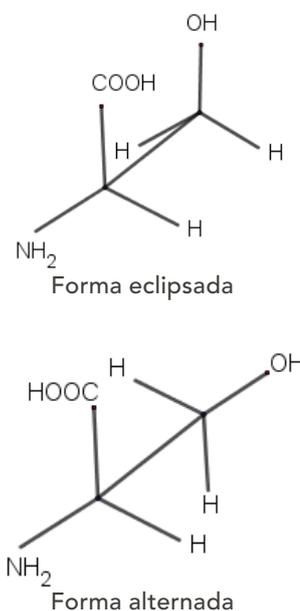


Vista del tetraedro

**Figura 12. (Continuación)** Representación tridimensional utilizando cuñas y líneas punteadas.

**PROYECCIÓN EN CABALLETE**

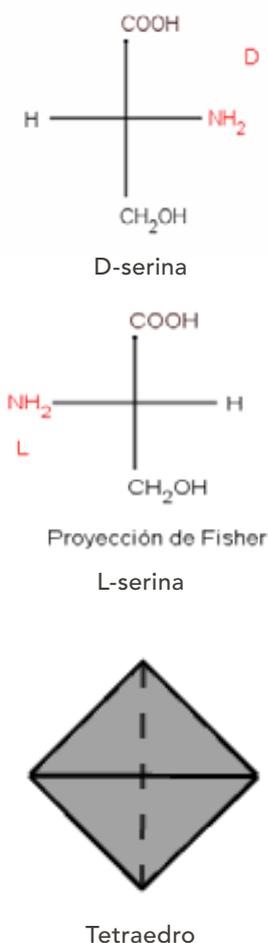
La proyección de caballete consiste en observar un par de átomos de carbono en perspectiva desde un ángulo de 45°. El carbono más próximo al observador se encuentra abajo y a la derecha, mientras que el más alejado está arriba a la izquierda. Este modelo permite dibujar las moléculas en un plano bidimensional y comprender su disposición espacial tridimensional; es eficaz para el estudio de la estereoquímica y las diferentes conformaciones al girar libremente el enlace sencillo C—C, siempre y cuando se comprenda el impedimento estérico y la energía que tendrán las conformaciones eclipsada y alternada (ver la Figura 13).



**Figura 13.** Proyección de caballete de la L-serina.

**PROYECCIONES DE FISCHER**

Fischer aplicó esta forma de representación para estudiar los múltiples isómeros de los carbohidratos; la proyección coloca la cadena hidrocarbonada verticalmente y toma la vista superior o de planta. La molécula se proyecta sobre el plano horizontal y los enlaces se muestran con líneas verticales y horizontales en forma de cruz: las horizontales representan los ángulos que se acercan al observador, o sea los que se levantan del papel; y las verticales representan los enlaces que se dirigen hacia atrás del papel; las letras D y L denotan la posición del grupo funcional del penúltimo carbono que se encuentra a la derecha o izquierda respectivamente (ver la Figura 14).

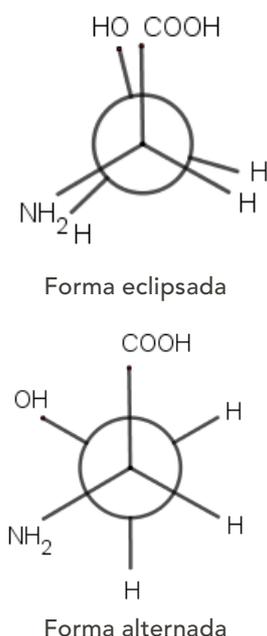


**Figura 14.** Proyección de Fischer de la serina.

**PROYECCIONES DE NEWMAN**

Se trata de una forma de representación bidimensional útil para visualizar conformaciones en un enlace simple carbono-carbono. Consiste en observar la molécula de frente, a lo largo del enlace que une a dos átomos de carbono, y proyectarla sobre el plano de forma que los grupos unidos al átomo de carbono más próximo al observador se dibujan enlazados al punto central de un círculo que representa al átomo; los del más alejado se esquematizan como si partieran desde atrás del círculo y, por tanto, sus enlaces solo son visibles parcialmente.

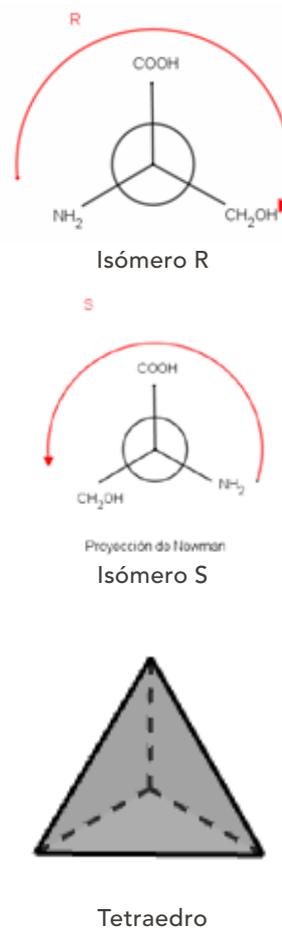
La proyección de Newman, al igual que la de caballete, sirve en el estudio de la estereoquímica y las diversas conformaciones de una molécula (Figura 15).



**Figura 15.** Proyección de Newman de la L-serina

Cuando la molécula contiene un carbono quiral, su vista se hace directamente hacia dicho carbono. Se muestran únicamente los tres grupos de mayor jerarquía unidos al carbono quiral sobre una de las caras del tetraedro; el cuarto

grupo (que va hacia atrás) queda oculto, y la asignación de los isómeros R o S se da de acuerdo a la jerarquía de los grupos unidos a dicho carbono. Es importante recalcar que la configuración R y S pertenece al centro quiral mas no a la molécula, ya que, si una molécula contiene más de un centro quiral, cada uno de ellos tendrá su propia configuración (Figura 16).



**Figura 16.** Proyección de Newman de la serina mostrando las configuraciones S y R.

**CONFORMACIONES SILLA Y BOTE DE COMPUESTOS CÍCLICOS**

Las conformaciones de silla y bote se presentan en moléculas con estructuras cíclicas. Los enlaces C—C que forman el anillo tienen rotación total impedida, pero pueden rotar ligeramente sin romper la estructura cíclica. Estas conformaciones se obtienen para evitar tensiones angulares o torsionales entre los átomos del anillo.

Los isómeros conformacionales se conocen como *silla* y *bote* por su similitud con estos objetos. La silla tiene todos los enlaces que forman el anillo distribuidos en zigzag de arriba a abajo. Si la colocamos en un plano horizontal, veremos que 4 átomos del anillo se encuentran en él y dos no; de estos dos últimos, uno está arriba del plano y el otro debajo. Por otra parte, si se dobla hacia arriba el extremo izquierdo de la silla, se obtiene la conformación *bote*. En esta, los 4 átomos que se encontraban en el plano conservan su posición, pero los otros dos ahora se encuentran del mismo lado, es decir, arriba del plano.

Cuando el ciclohexano adquiere la forma de silla, se encuentra en un mínimo energético: se trata de la conformación más estable del ciclohexano y prácticamente todo derivado de él. Algo contrario ocurre con la forma de bote, ya que los enlaces eclipsados y la tensión torsional considerable (que aumenta la energía de la molécula) perjudican la estabilidad.

Los hidrógenos perpendiculares al plano de la molécula se denominan *axiales*, mientras que los orientados próximos al plano de la molécula reciben el nombre de *ecuatoriales*. Los hidrógenos axiales de dos carbonos adyacentes se orientan en sentidos contrarios, y lo mismo ocurre con los ecuatoriales. En cada carbono hay dos hidrógenos, uno axial y otro ecuatorial: si el axial se orienta hacia arriba, el ecuatorial lo hace hacia abajo y viceversa. En la figura 17, los hidrógenos axiales son de color azul y los ecuatoriales de color rojo.

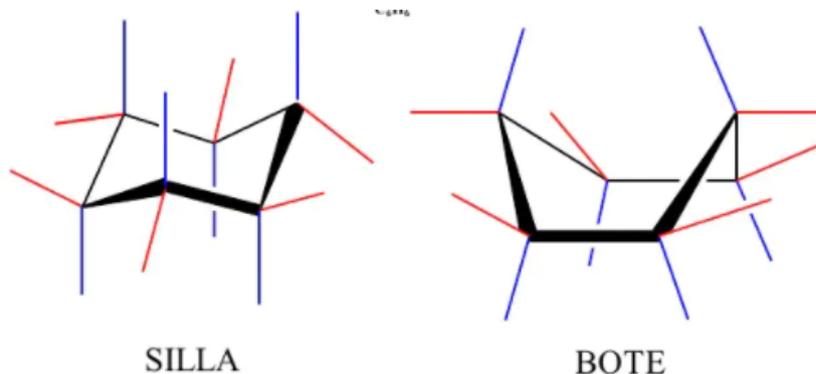


Figura 17. Conformaciones del ciclohexano. Silla y bote.

### MODELOS MOLECULARES MANIPULATIVOS FÍSICOS Y UTILIZANDO SOFTWARE

#### MODELO DE BOLAS Y VARILLAS

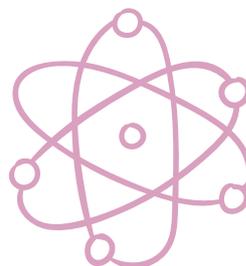
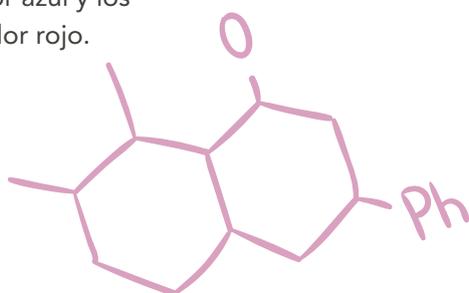
Muestra la posición tridimensional de los átomos y los enlaces entre ellos mediante esferas y barras. Son equivalentes a una fórmula desarrollada, pero con "bolitas y palitos". Los átomos son típicamente sustituidos por esferas conectadas por barras o varillas que hacen las veces de enlaces (Figura 18). Hay variantes de estos modelos que tienen solo varillas y disminuyen el tamaño de las bolas a simples conectores (Figura 19); otras aumentan el tamaño de las esferas hasta desaparecer las varillas (Figura 20), en estos últimos modelos se percibe el volumen que ocupa el átomo, no solo el núcleo sino junto con la nube electrónica.

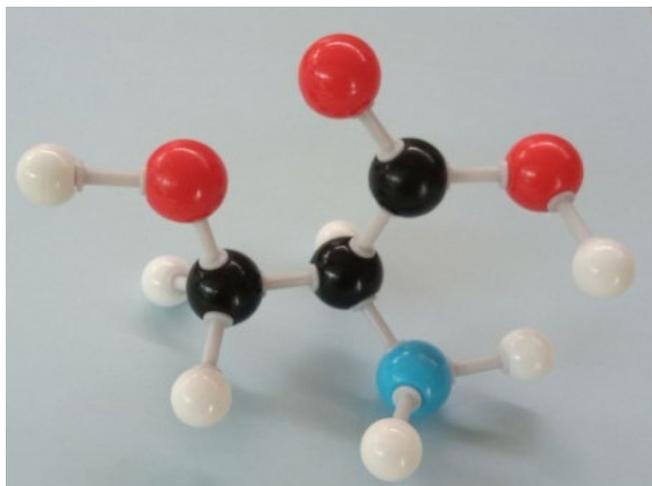
Los modelos moleculares pueden ser físicos, ya sea que se construyan con un kit especializado o bien utilizando materiales como esferas de unicel o plastilina unidos con varas de madera o plástico. Para este artículo se utilizaron modelos físicos de *Molecular Model Kit*,

*MMK*, de Linktor y *Framework of Molecular Model*, *FMM*, de Prentice Hall. Actualmente existen ya aplicaciones informáticas para este fin. El software utilizado en este artículo para mostrar las moléculas es *ACD/ChemSketch*, en el cual se pueden dibujar todas las representaciones anteriormente descritas y además generar las moléculas en 3D.

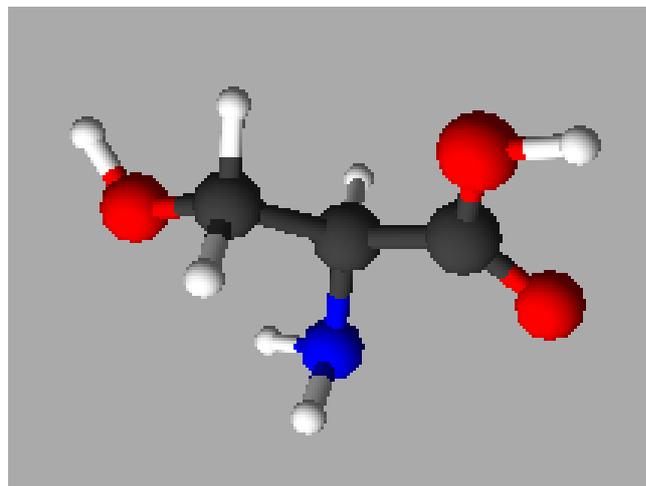
Los colores de las esferas siguen un código establecido: el color negro corresponde al carbono; el blanco al hidrógeno; el rojo al oxígeno, y el azul al nitrógeno. Los demás átomos tienen colores específicos. En el modelo de varillas, el color de cada una debe ser igual que el de los átomos que une: si el enlace es C—C, la varilla será negra, pero si es C—O la varilla será mitad negra y mitad roja.

El uso de estos artefactos contribuye a la comprensión de los isómeros y las interacciones entre los átomos, así como del volumen y la geometría molecular. Sus inconvenientes son el tiempo de construcción, el número limitado de esferas y enlaces de cada color y que las estructuras a menudo son frágiles.



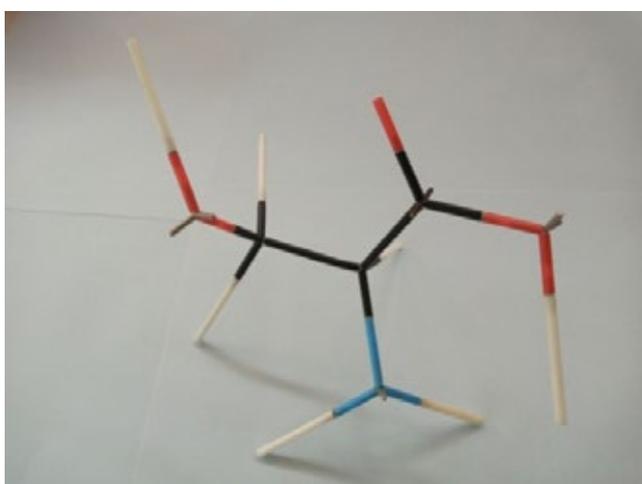


Modelo físico, MMK

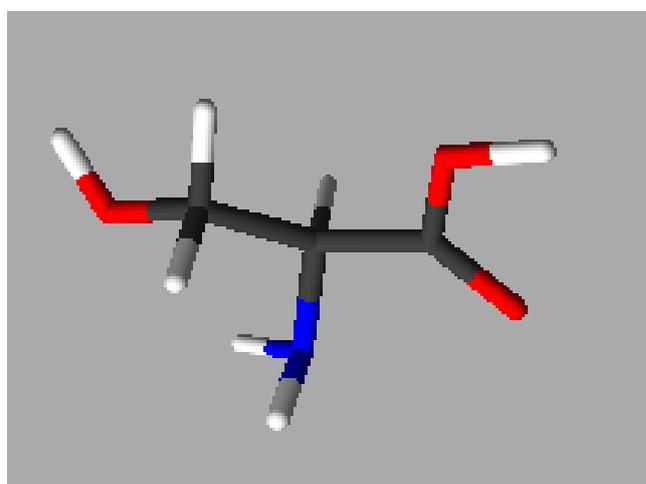


Modelo con software ACD/ChemSketch

**Figura 18.** Modelos de bolas y varillas.

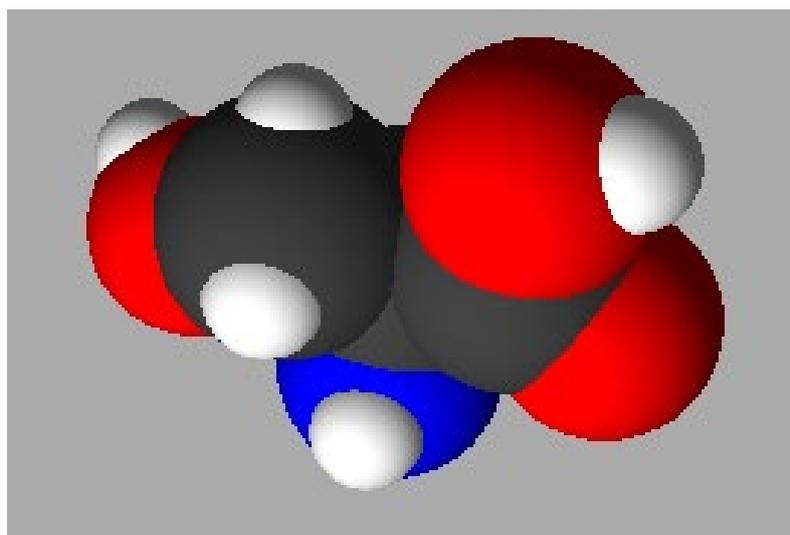


Modelo físico, MMK



Modelo con software ChemSketch

**Figura 19.** Modelos de varillas.



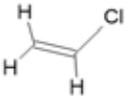
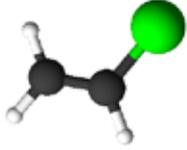
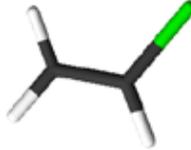
**Figura 20.** Modelo de bolas con ACD/ChemSketch

## EJERCICIOS PROPUESTOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE UN TIPO DE FÓRMULA EN OTRO

### EJERCICIO 1.

- Dibuja las fórmulas molecular, desarrollada y semidesarrollada del cloroetano. Puedes utilizar cualquiera de las formas de representación.
- Construye su estructura tridimensional con modelos de bolas y varillas.
- Menciona si hay isómeros estructurales.

#### RESPUESTA:

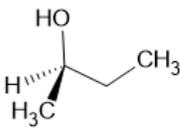
Fórmula molecular $C_2H_3Cl$	Fórmula desarrollada 	Fórmulas semidesarrolladas $CH_2=CH-Cl$ 
Modelo de bolas y varillas 	Modelo de varillas 	

### EJERCICIO 2.

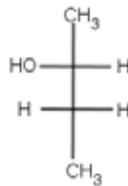
Traza las representaciones tridimensionales utilizando cuñas, proyección de Fischer, proyección de Newman y caballete del isómero R del 2-butanol.

#### RESPUESTA:

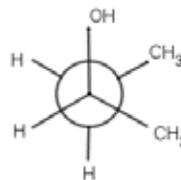
Cuña



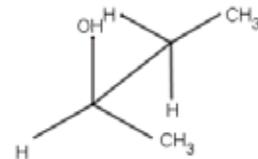
Fischer



Newman



Caballete

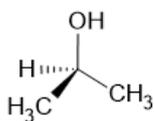


### EJERCICIO 3.

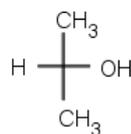
Traza las representaciones tridimensionales utilizando cuñas, proyección de Fischer, proyección de Newman y caballete del propanol. No tiene carbono asimétrico.

#### RESPUESTA:

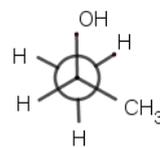
Cuña



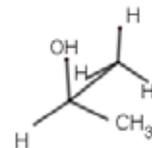
Fischer



Newman



Caballete



## CONCLUSIONES

Las moléculas no son planas ni rígidas, tienen modos particulares de acomodarse en el espacio y permiten ciertos movimientos, giros alrededor de los ejes sencillos. Además, existen tantos temas por aprender de ellas que es imposible entenderlos si no usamos las diferentes representaciones. La semiótica de moléculas en química orgánica no se limita a simples dibujos, cada sistema representacional está sustentado en la teoría molecular y su aprendizaje va más allá de solo saber trazar. Reconocer las representaciones para elegir la más adecuada en el tema que se desea estudiar, al igual que transformarlas entre ellas son las habilidades fundamentales en esta disciplina y se perfeccionan con la práctica frecuente.

El docente de química conoce los esquemas de representación y usualmente se vale de ellos indistintamente: salta de una forma de representación a otra sin ponderar los conflictos que esto ocasiona en los alumnos. No obstante, es importante que, cuando cambie de un sistema a otro, explique y aclare el significado de la sustitución, pues es habitual que los estudiantes encuentren dificultades al hacer comparaciones entre estructuras, y más aún bajo sistemas representacionales disímiles.

Para alcanzar la comprensión de las fórmulas químicas es indispensable la posibilidad de manipularlas y operar con y sobre ellas. Esto se relaciona con la habilidad de crear una imagen mental, y con el procesamiento de un código de imágenes. Los modelos tridimensionales, los dibujos, las perspectivas, etc. facilitan el aprendizaje, sobre todo cuando el estudiante no está familiarizado con el tema.

El ser humano, desde edades tempranas, utiliza símbolos, figuras, geometrías y, por tal motivo, la inclusión de más de un solo tipo de representación posibilita que el docente transmita el conocimiento a sus alumnos de manera entendible, y que los estudiantes de química puedan comprender el mundo microscópico de las moléculas.

## REFERENCIAS

- Alzate, M., Caballero, C., Moreira, M. (2006). Multiplicidad funcional de la representación molecular: Implicaciones en la enseñanza y aprendizaje de la Química. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(2).
- Carey, F. (2008). *Química Orgánica*. McGraw Hill.
- Cerón J., Arroyo, R., Aguilar, R., González, E., Pérez A. (2013). Precisiones y comentarios sobre el artículo "Evaluación del aprendizaje en las representaciones moleculares 'enlace-línea' de los compuestos orgánicos. Un estudio de caso". *Educ. quími.*, 24(3), 270-277.
- Chang, R. (2021). *Química*. McGraw Hill.
- Eco U. (2000). *Tratado de Semiótica General*. Editorial Lumen.
- Flamini, L., Wainmaier, C. O. (2012). Representaciones moleculares: Reflexiones sobre su enseñanza [en línea]. *III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*, 26, 27 y 28 de septiembre de 2012, La Plata, Argentina. En Memoria Académica. [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab\\_eventos/ev.3671/ev.3671.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.3671/ev.3671.pdf)
- Hernández, M. (2017). *Química II*. Texto de educación media superior.
- Lorenzo, M., Pozo, J. (2010). La representación gráfica de la estructura espacial de las moléculas: eligiendo entre múltiples sistemas de notación. *Cultura y Educación*, 22(2), 231-246
- Morrison, R. y Boyd, R., (1998). *Química Orgánica*. Pearson Education.
- Nakamatxu, J. (2012). Reflexiones sobre la enseñanza de la química. *En Blanco & Negro*, 3(2).
- Recio Del Bosque, F. (2012). *Química Orgánica*. McGraw Hill.
- Villaseñor, E., Canchola, E., Salame, A. (2013). Evaluación del aprendizaje en las representaciones moleculares "enlace-línea" de los compuestos orgánicos. Un estudio de caso. *Educ. quími.*, 24 (núm. extraord. 1), 174-179.