

Anexo A. Consentimiento informado

Título: Evaluación del uso de modelos moleculares físicos tridimensionales en el aprendizaje de estereoquímica en el curso de Química Orgánica I.

Investigadora principal: Paula Andrea Renteria Palenque

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Le invitamos a participar en un estudio cuyo objetivo es evaluar el impacto de los modelos moleculares físicos tridimensionales en el aprendizaje de la estereoquímica y el desarrollo de habilidades visoespaciales en el curso de Química Orgánica I. Este estudio busca explorar cómo el uso de estas herramientas innovadoras puede mejorar la comprensión y el rendimiento académico en esta área.

La participación en este estudio es completamente voluntaria y tiene como propósito contribuir al desarrollo de nuevas estrategias pedagógicas que pueden beneficiar tanto a los estudiantes como a la comunidad académica en general. Su participación ayudará a generar lineamientos educativos que optimicen los procesos de enseñanza-aprendizaje en el ámbito de la química.

Le invitamos a leer cuidadosamente la información del estudio y hacer las preguntas necesarias para su total comprensión. Estaremos encantados de resolver cualquier duda que tenga antes de tomar su decisión.

1. Objetivo de la Investigación.

Elaborar y desarrollar una metodología integral basada en el empleo de modelos moleculares físicos tridimensionales, orientada a mejorar el aprendizaje de la estereoquímica y el rendimiento académico de los estudiantes que cursan Química Orgánica I del plan 11. Esta metodología buscará fomentar el desarrollo de habilidades de visión espacial y comprensión conceptual de la estereoquímica, permitiendo una comparación cuantitativa y cualitativa de su efectividad frente a los métodos tradicionales de enseñanza utilizados en la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander.

2. Procedimiento.

El desarrollo del estudio requiere la autorización de los participantes para:

- ❖ Participar activamente en las actividades diseñadas como parte del estudio, las cuales incluyen el uso de modelos moleculares tridimensionales en el grupo experimental o la metodología tradicional en el grupo de control. Estas actividades son parte del curso regular y buscan reforzar su aprendizaje de la estereoquímica.
- ❖ Autorizar la revisión de los espacios virtuales utilizados en el curso (como la plataforma Moodle 4.4), para identificar las formas de evaluación implementadas en las estrategias de aprendizaje.
- ❖ Permitir la recopilación de su opinión mediante encuestas relacionadas con sus prácticas de aprendizaje y su experiencia en el uso de modelos moleculares tridimensionales.
- ❖ Aceptar la realización de evaluaciones parciales y acumulativas diseñadas para medir su aprendizaje de la estereoquímica, así como su desempeño académico, utilizando diferentes modalidades: virtual, escrita y oral.

Podrá participar en los aspectos descritos según su preferencia, teniendo la completa libertad de elegir en cuáles desea ser parte activa. Además, incluso si firma este consentimiento, podrá manifestar en cualquier momento su decisión de retirar sus datos del estudio. Su participación es completamente voluntaria, gratuita y no requiere ninguna preparación previa.

3. Tratamiento de información

Toda la información recopilada en este estudio se tratará de acuerdo con las disposiciones definidas por la ley colombiana 1581 de 2012, de protección de datos personales.

4. Riesgos

La participación en este estudio implica un nivel de riesgo mínimo, asegurando que su integridad física, psicológica y emocional no se verá comprometida en ningún momento. Esto significa que la probabilidad y magnitud de cualquier posible inconveniente o malestar no superan los que podrían experimentarse durante las actividades académicas habituales o en la vida cotidiana. Se tomarán todas las medidas necesarias para garantizar un entorno seguro y respetuoso para todos los participantes, velando por su bienestar durante el desarrollo del estudio.

5. Beneficios

Con su participación, contribuirá de manera significativa a evaluar y comprender el impacto del uso de modelos moleculares físicos tridimensionales en el aprendizaje de la estereoquímica. Este aporte será clave para caracterizar y optimizar los procesos de enseñanza en el área de Química Orgánica I, lo que permitirá formular lineamientos pedagógicos que beneficien a la comunidad académica y fortalezcan la calidad educativa en la institución.

6. Aceptación

Su firma en este formulario significa que entiende la información provista y que acepta participar del estudio titulado:

Análisis del impacto en el aprendizaje de la estereoquímica en el curso de Química Orgánica I al involucrar modelos moleculares físicos tridimensionales.

Se reitera que su participación es voluntaria, y que se puede retirar del estudio en cualquier momento.

Nombre del participante: _____ C.C. _____

Fecha en que firma el consentimiento: _____

Firma del participante: _____

Información de contacto:

Estudiante Paula Andrea Renteria Palenque

C.C. 1.005.280.370

Investigadora Principal del Proyecto

E-mail: paula2210122@correo.uis.edu.co

Anexo B1. Guía I del grupo experimental

Laboratorio de Química Orgánica I – Guía instructiva I



EVALUACIÓN DEL USO DE MODELOS MOLECULARES FÍSICOS TRIDIMENSIONALES EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA EN EL CURSO DE QUÍMICA ORGÁNICA I

Nombre: _____ Código: _____ Grupo: _____

Introducción: Caja de modelos moleculares físicos tridimensionales



Figura 1. Caja de modelos moleculares físicos tridimensionales y sus piezas.

Durante cuatro semanas, construirán estructuras moleculares con modelos físicos tridimensionales para visualizar la disposición espacial de los átomos. Analizarán sus propiedades estereoquímicas, identificando centros quirales, configuraciones absolutas (*R/S*), y diferenciando isómeros geométricos (*cis/trans*), ópticos (enantiómeros) y diastereoisómeros. Esto fortalecerá su capacidad para interpretar y predecir la influencia de la estereoquímica en la reactividad y función de las moléculas en contextos químicos y biológicos.

Importancia de los modelos moleculares físicos tridimensionales

Los modelos moleculares tridimensionales son esenciales en la educación química porque facilitan la comprensión espacial de estructuras complejas, ayudan a interpretar fenómenos moleculares y muestran cómo se ensamblan las moléculas en sistemas biológicos o en materiales. En estereoquímica, permiten identificar quiralidad, configuraciones espaciales y diferencias entre isómeros, fundamentales para entender la actividad biológica de compuestos y desarrollar habilidades críticas para la investigación y aplicación química.

Recurso material

- ❖ Caja de modelos moleculares físicos tridimensionales. La caja contiene piezas plásticas (esferas y varillas que representan átomos y enlaces) así: hidrógenos (naranja), carbonos sp^3 (negro), oxígenos (azul claro), nitrógenos (azul oscuro), cloros (verde), enlaces cortos (blanco) y enlaces largos (blanco).

Indicadores de aprendizaje

- ❖ Interpretar la estructura tridimensional de moléculas orgánicas pequeñas (<500 g/mol).
- ❖ Construir moléculas utilizando modelos tridimensionales.
- ❖ Identificar y clasificar isómeros geométricos utilizando modelos moleculares.

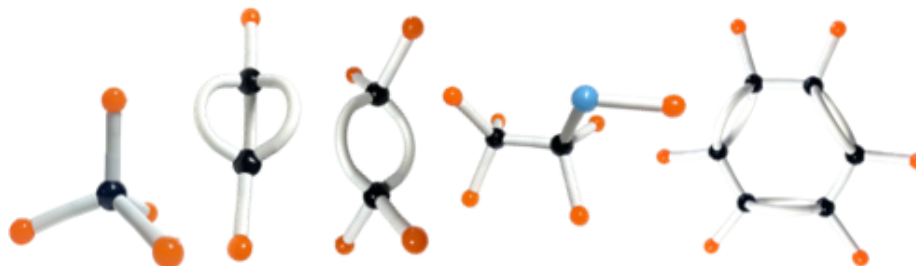


Figura 2. Modelos moleculares físico tridimensional de: metano, etino, eteno, etanol y benceno.

Actividades - Parte A:

1. Construya las moléculas indicadas en la Figura 2.
2. Construya los isómeros *cis* y *trans* del but-2-eno.

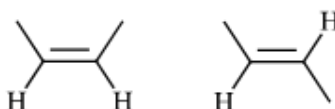


Figura 3. Estructura molecular de *cis*-but-2-eno y *trans*-but-2-eno.

3. Construya el ciclopentano, ciclohexano, cicloheptano y ciclooctano. Note la tensión (de Baeyer) al intentar la construcción del ciclobutano y el ciclopropano.
4. Construya un halo(cloro)alcano, una cetona, un aldehído y una amina.

Actividades - Parte B:

1. Dibuje el etano y propano con líneas punteadas y cuñas para representar los enlaces que van hacia atrás y hacia adelante.
2. Diga la hibridación del átomo de nitrógeno en el amónico (NH₃). Dibuje la estructura tridimensional del amoniaco y prediga los ángulos de enlace.
3. Mencione la hibridación, geometría y ángulos de enlace de los átomos centrales y realice una representación tridimensional (utilizando cuñas y líneas punteadas) de la estructura de:
 - a) CH₃CH=NH (etanimina)
 - b) CH₃C≡N (acetonitrilo)
 - c) CH₃CHO (acetaldehído/etanal)
 - d) CO₂ (dióxido de carbono)
 - e) CH₃CH₂OCH₂CH₃ (dietil éter)



Bibliografía y recursos adicionales

- Wade Jr. L., G.; Simek J. W. *Organic Chemistry*, 9th ed; Pearson Glenview, IL.: 2017; pp 237-282.
- McMurry John. *Organic Chemistry*, 9th ed; Cengage Learning: 2018; pp 115-148.
- Bruice Paula Yurkanis. *Organic Chemistry* 5th ed; Pearson: 2008; pp 200-257.
- <https://app-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science-education-library/1618/stereoisomerism> (JoVE, Organic Chemistry, Chapter 4: Stereoisomerism)
- <https://es.khanacademy.org/science/organic-chemistry/stereochemistry-topic> (Khan Academy, Química orgánica, Unidad 4: Estereoquímica)
- ChemDoodle (PC, Mac y móvil) <https://www.ichemlabs-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/download>
- ChemSketch (PC). https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/#chemsketch_modal
- King Draw (Android y PC). https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kingagroot.kingdraw&hl=es_CO&pli=1

Anexo B2. Guía I del grupo de control



Laboratorio de Química Orgánica I – Guía instructiva I

EVALUACIÓN DEL USO DE MODELOS MOLECULARES FÍSICOS TRIDIMENSIONALES EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA EN EL CURSO DE QUÍMICA ORGÁNICA I

Nombre: _____ Código: _____ Grupo: _____

Introducción: Preconceptos

Durante cuatro semanas, construirán estructuras moleculares para visualizar la disposición espacial de los átomos. Analizarán sus propiedades estereoquímicas, identificando centros quirales, configuraciones absolutas (*R/S*), y diferenciando isómeros geométricos (*cis/trans*), ópticos (enantiómeros) y diastereoisómeros. Esto fortalecerá su capacidad para interpretar y predecir la influencia de la estereoquímica en la reactividad y función de las moléculas en contextos químicos y biológicos.

Indicadores de aprendizaje

- ❖ Construir moléculas orgánicas.
- ❖ Interpretar la estructura tridimensional de moléculas orgánicas pequeñas (<500 g/mol).
- ❖ Identificar y clasificar isómeros geométricos utilizando modelos moleculares.

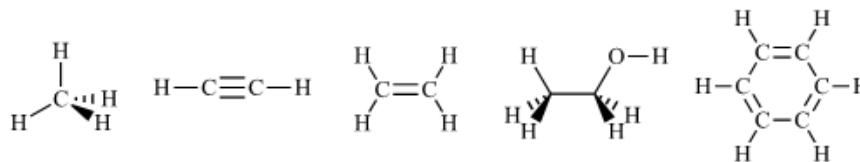


Figura 1. Estructura molecular de: metano, etino, eteno, etanol y benceno.

Actividades - Parte A:

1. Mencione la hibridación, geometría y ángulos de enlace de los átomos centrales de las moléculas indicadas en la Figura 1.
2. Dibuje la estructura molecular de los isómeros *cis* y *trans* del but-2-eno.
3. Dibuje la estructura molecular del ciclopropano, ciclobutano, ciclopentano, ciclohexano, cicloheptano y ciclooctano. Identifique y mencione que cicloalcanos tienen tensión de Baeyer.
4. Dibuje la estructura molecular de un haloalcano, una cetona, un aldehído y una amina.

Actividades - Parte B:

1. Dibuje el etano y propano con líneas punteadas y cuñas para representar los enlaces que van hacia atrás y hacia adelante.
2. Diga la hibridación del átomo de nitrógeno en el amónico (NH₃). Dibuje la estructura tridimensional del amoníaco y prediga los ángulos de enlace.



3. Mencione la hibridación, geometría y ángulos de enlace de los átomos centrales y realice una representación tridimensional (utilizando cuñas y líneas punteadas) de la estructura de:
- | | |
|---|--|
| a) $\text{CH}_3\text{CH}=\text{NH}$ (etanimina) | d) CO_2 (dióxido de carbono) |
| b) $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{N}$ (acetonitrilo) | e) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ (dietil éter) |
| c) CH_3CHO (acetaldehído/etanal) | |

Bibliografía y recursos adicionales

- Wade Jr. L., G.; Simek J. W. *Organic Chemistry*, 9th ed; Pearson Glenview, IL.: 2017; pp 237-282.
- McMurry John. *Organic Chemistry*, 9th ed; Cengage Learning: 2018; pp 115-148.
- Bruice Paula Yurkanis. *Organic Chemistry* 5th ed; Pearson: 2008; pp 200-257.
- <https://app-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science-education-library/1618/stereoisomerism> (JoVE, Organic Chemistry, Chapter 4: Stereoisomerism)
- <https://es.khanacademy.org/science/organic-chemistry/stereochemistry-topic> (Khan Academy, Química orgánica, Unidad 4: Estereoquímica)
- ChemDoodle (PC, Mac y móvil) <https://www.ichemlabs-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/download>
- ChemSketch (PC). https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/#chemsketch_modal
- King Draw (Android y PC). https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kingagroot.kingdraw&hl=es_CO&pli=1

Nota general para los anexos correspondientes a las Guías II, III y IV. En las Guías II–IV se presentan variaciones mínimas entre los materiales del grupo experimental y los del grupo de control. En el grupo experimental se añadió un apartado sobre el recurso material y la importancia pedagógica de los modelos moleculares tridimensionales, además de figuras basadas en fotografías de modelos físicos. En cambio, las versiones para el grupo de control emplearon únicamente representaciones bidimensionales tomadas del texto guía y no incluyeron el apartado referido al uso de modelos.

Con el fin de evitar la duplicación de contenido y facilitar la comparación entre ambas versiones, en los anexos se presentan las figuras divididas en dos secciones: a la izquierda (verde), las correspondientes al grupo experimental; y a la derecha (azul), las utilizadas con el grupo de control. Esta estructura permite visualizar de manera clara y concisa las diferencias específicas introducidas para cada grupo, sin alterar la secuencia general de las actividades propuestas.

Anexo B3. Guía II del grupo experimental y de control

Laboratorio de Química Orgánica I – Guía instructiva II



EVALUACIÓN DEL USO DE MODELOS MOLECULARES FÍSICOS TRIDIMENSIONALES EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA EN EL CURSO DE QUÍMICA ORGÁNICA I

Nombre: _____ Código: _____ Grupo: _____

Estereoquímica: Quiralidad, carbonos asimétricos y configuración R/S

La estereoquímica se ocupa de la disposición espacial de los átomos en las moléculas y cómo esta disposición afecta su reactividad, propiedades fisicoquímicas y actividades biológicas, siendo los centros quirales un enfoque central en este estudio. La quiralidad en una molécula se refiere a la existencia de un centro asimétrico, que a menudo se denota con un asterisco (*). Este centro asimétrico es típicamente un átomo de carbono tetraédrico que está unido a cuatro grupos diferentes. Una molécula se considera quiral si su imagen especular no puede superponerse con la molécula original. En contraste, si la imagen especular es idéntica a la original, se clasifica como no quiral o aquiral. Las moléculas que presentan imágenes especulares no superponibles son conocidas como **enantiómeros**, y su estudio es crucial para entender cómo pequeñas diferencias en la estructura pueden influir en la actividad biológica y química.

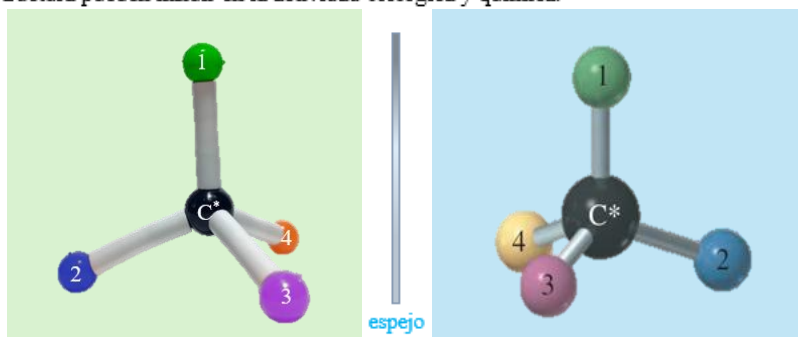


Figura 1. Enantiómeros de un carbono asimétrico.

La convención de Cahn-Ingold-Prelog (CIP) es el método más reconocido para designar las configuraciones de los centros quirales en las moléculas. A cada átomo de carbono que presenta quiralidad se le asigna una letra, (*R*) o (*S*) en función de su disposición tridimensional. Para determinar esta designación, se sigue un procedimiento de dos pasos: primero, se asignan “prioridades” a los cuatro grupos sustituyentes según su número atómico, otorgando mayor prioridad a los átomos más pesados. Luego, se observa la disposición de los sustituyentes de mayor prioridad en relación al sustituyente de menor prioridad. Si los sustituyentes de mayor prioridad están dispuestos en el sentido de las agujas del reloj, se asigna la letra (*R*); si están en sentido antihorario, se asigna (*S*).

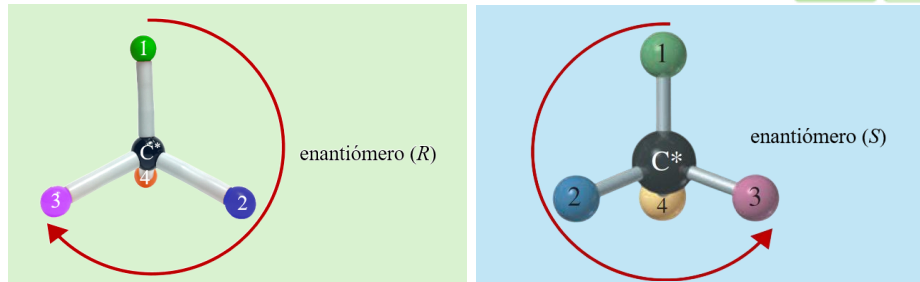


Figura 2. Configuraciones R y S de enantiómeros.

Las propiedades físicas de los enantiómeros son idénticas o indistinguibles en ambientes no quirales, ya que comparten la misma fórmula molecular, estructura y energía. Sin embargo, sus diferencias se manifiestan cuando interactúan con otras moléculas quirales, como ocurre en sistemas biológicos o en presencia de luz polarizada. Para diferenciar enantiómeros, se utiliza un método basado en su interacción con un plano de luz polarizada: cada enantiómero tiene la capacidad de desviar este plano en direcciones opuestas, ya sea en sentido horario (designado como (+) o dextrógiro) o antihorario (designado como (-) o levógiro). Esta propiedad se conoce como **actividad óptica**, y las sustancias que la presentan se denominan ópticamente activas. Cabe destacar que la dirección del giro observado no puede predecirse únicamente a partir de la configuración absoluta (R o S) de la molécula; por lo tanto, debe determinarse experimentalmente mediante polarimetría.

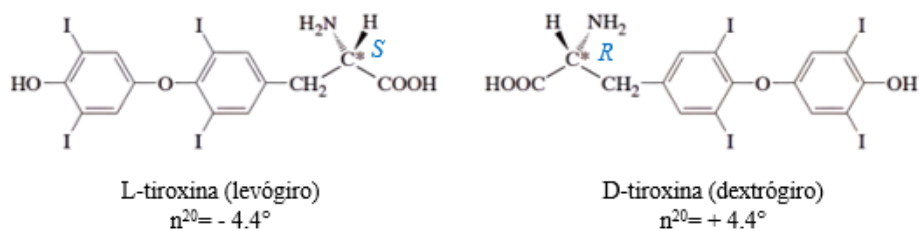


Figura 3. Hormona tiroidea (tiroxina, T4) y sus valores bajo luz polarizada.

Importancia de los modelos moleculares físicos tridimensionales

Los modelos moleculares tridimensionales son esenciales en la educación química porque facilitan la comprensión espacial de estructuras complejas, ayudan a interpretar fenómenos moleculares y muestran cómo se ensamblan las moléculas en sistemas biológicos o en materiales. En estereoquímica, permiten identificar quiralidad, configuraciones espaciales y diferencias entre isómeros, fundamentales para entender la actividad biológica de compuestos y desarrollar habilidades críticas para la investigación y aplicación química.

Recurso material

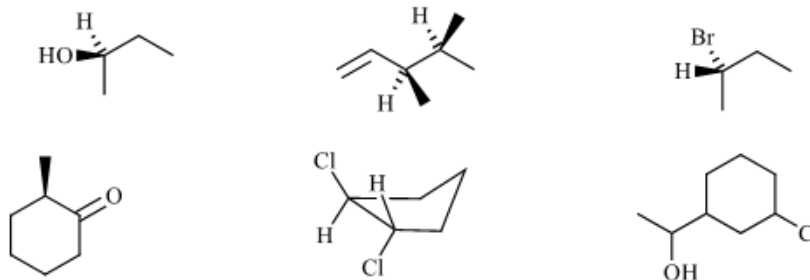
- ❖ Caja de modelos moleculares físicos tridimensionales. La caja contiene piezas plásticas (esferas y varillas que representan átomos y enlaces) así: hidrógenos (naranja), carbonos sp^3 (negro), oxígenos (azul claro), nitrógenos (azul oscuro), cloros (verde), enlaces cortos (blanco) y enlaces largos (blanco).

Indicadores de aprendizaje

- ❖ Interpretar la estructura tridimensional de moléculas orgánicas pequeñas (<500 g/mol).
- ❖ Clasificar moléculas como quirales o aquirales, e identificar planos de simetría especular.
- ❖ Determinar la configuración absoluta (R/S) de centros quirales mediante el uso de las reglas de Cahn-Ingold-Prelog.
- ❖ Explicar cómo difieren las propiedades físicas de los distintos tipos de estereoisómeros.

Actividades - Parte A:

- Dibuje y empleando las piezas adecuadas de la caja de modelos moleculares construya una estructura tridimensional para cada uno de los siguientes compuestos. Luego construya la imagen especular de la estructura original y determine si la imagen especular corresponde al mismo compuesto. Marque cada estructura como quiral o aquiral.
 - cis*-1,2-Dimetilciclopentano
 - trans*-1,2-Dimetilciclopentano
 - trans*-1,3-Dimetilciclopentano
- Determine los átomos de carbono asimétricos y su respectiva configuración (R) o (S). Indique el nombre para cada sustancia.



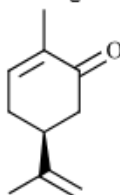
- Construya una representación tridimensional para cada uno de los siguientes compuestos:
 - ($2S$)-2-Clorobutano
 - ($2R$)-1,1,2-Trimetilciclopentano
 - ($2R,3S$)-2,3-Dibromopentano
 - ($1R,2R$)-1,2-Dibromociclopentano

Actividades - Parte B:

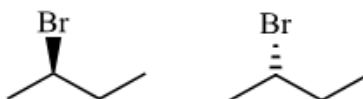
- Para cada compuesto, determine si la molécula tiene un plano de simetría especular interno. Si lo tiene dibuje el plano especular en un dibujo tridimensional de la molécula. Si la molécula no tiene un plano especular interno, determine si la estructura es quiral.

- a) Metano
 b) *cis*-1,2-Dibromociclobutano
 c) *trans*-1,2-Dibromociclobutano
- d) Gliceraldehido
 e) Alanina

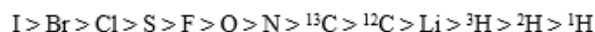
2. A continuación, aparece la estructura de uno de los enantiómeros de la carvona. Encuentre el átomo asimétrico y determine si tiene la configuración (*R*) o (*S*).



3. El (*2R*)-2-bromobutano y el (*2S*)-2-bromobutano tienen un punto de ebullición idéntico. ¿Falso o verdadero? Explique su respuesta.



Ejemplos de prioridad para los átomos enlazados a un carbono asimétrico:



Sugerencia: Si el átomo de menor prioridad (usualmente el hidrógeno) está orientado hacia usted, no es necesario voltear la estructura. Puede dejarla tal como está, con el hidrógeno hacia usted, y aplicar la regla *R/S* de manera inversa.

Bibliografía y Recursos Adicionales

- Wade Jr. L., G.; Simek J. W. *Organic Chemistry*, 9th ed; Pearson Glenview, IL.: 2017; pp 237-282.
- McMurry John. *Organic Chemistry*, 9th ed; Cengage Learning: 2018; pp 115-148.
- Bruice Paula Yurkanis. *Organic Chemistry* 5th ed; Pearson: 2008; pp 200-257.
- <https://app-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science-education-library/1618/stereoisomerism> (JoVE, Organic Chemistry, Chapter 4: Stereoisomerism)
- <https://es.khanacademy.org/science/organic-chemistry/stereochemistry-topic> (Khan Academy, Química orgánica, Unidad 4: Estereoquímica)
- ChemDoodle (PC, Mac y móvil) <https://www-ichemlabs-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/download>
- ChemSketch (PC). https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/#chemsketch_modal
- King Draw (Android y PC). https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kingagroot.kingdraw&hl=es_CO&pli=1

Anexo B4. Guía III del grupo experimental y de control

Laboratorio de Química Orgánica I – Guía instructiva III



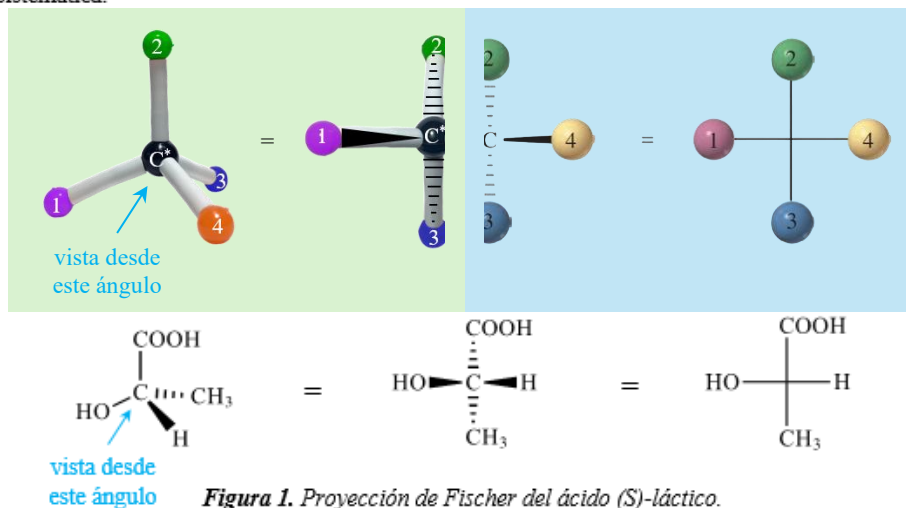
EVALUACIÓN DEL USO DE MODELOS MOLECULARES FÍSICOS TRIDIMENSIONALES EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA EN EL CURSO DE QUÍMICA ORGÁNICA I

Nombre: _____ Código: _____ Grupo: _____

Estereoquímica: Proyecciones de Fischer y configuración *R/S*

Las proyecciones de Fischer creadas por Emil Fischer a finales del siglo XIX son una forma de representar moléculas, especialmente azúcares y compuestos orgánicos con varios centros quirales. En este tipo de proyección, la cadena principal de carbono se dibuja verticalmente, con los grupos funcionales y sustituyentes dispuestos a la izquierda y a la derecha. Los enlaces que se dirigen hacia el espectador se representan como líneas horizontales, mientras que los que se alejan se muestran como líneas verticales.

Esta representación bidimensional facilita la comparación de estereoisómeros y la determinación de configuraciones absolutas (*R/S*) en moléculas con múltiples centros quirales. Aunque es una simplificación, resulta especialmente útil en química orgánica y bioquímica para identificar relaciones entre isómeros y para escribir y analizar reacciones estereoquímicas de manera clara y sistemática.



- ❖ Son más útiles en compuestos con dos o más átomos de carbono asimétricos.
- ❖ Los carbonos asimétricos se encuentran en el centro de las cruces.
- ❖ Las líneas verticales se proyectan alejándose del observador, y las líneas horizontales hacia él.
- ❖ La cadena de carbonos se coloca a lo largo de la vertical, con la numeración IUPAC de arriba hacia abajo.

Importancia de los modelos moleculares físicos tridimensionales

Los modelos moleculares tridimensionales son esenciales en la educación química porque facilitan la comprensión espacial de estructuras complejas, ayudan a interpretar fenómenos moleculares y muestran cómo se ensamblan las moléculas en sistemas biológicos o en materiales. En estereoquímica, permiten identificar quiralidad, configuraciones espaciales y diferencias entre isómeros, fundamentales para entender la actividad biológica de compuestos y desarrollar habilidades críticas para la investigación y aplicación química.

Recurso material

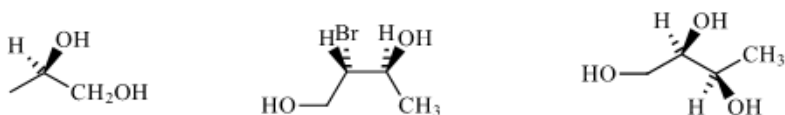
- ❖ Caja de modelos moleculares físicos tridimensionales. La caja contiene piezas plásticas (esferas y varillas que representan átomos y enlaces) así: hidrógenos (naranja), carbonos sp^3 (negro), oxígenos (azul claro), nitrógenos (azul oscuro), cloros (verde), enlaces cortos (blanco) y enlaces largos (blanco).

Indicadores de aprendizaje

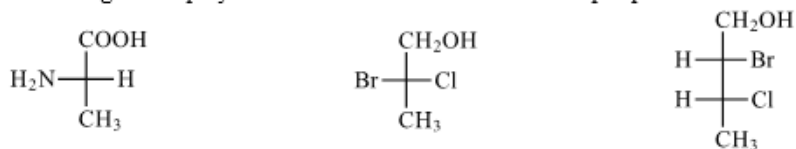
- ❖ Interpretar la estructura tridimensional de moléculas orgánicas pequeñas (<500 g/mol).
- ❖ Identifica centros quirales de compuestos quirales.
- ❖ Determinar la configuración absoluta (*R/S*) de centros quirales mediante el uso de las reglas de Cahn-Ingold-Prelog.
- ❖ Dibujar e interpretar correctamente las proyecciones de Fischer de átomos de carbono asimétricos.
- ❖ Explicar cómo difieren las propiedades físicas de los distintos tipos de estereoisómeros.

Actividades- Parte A:

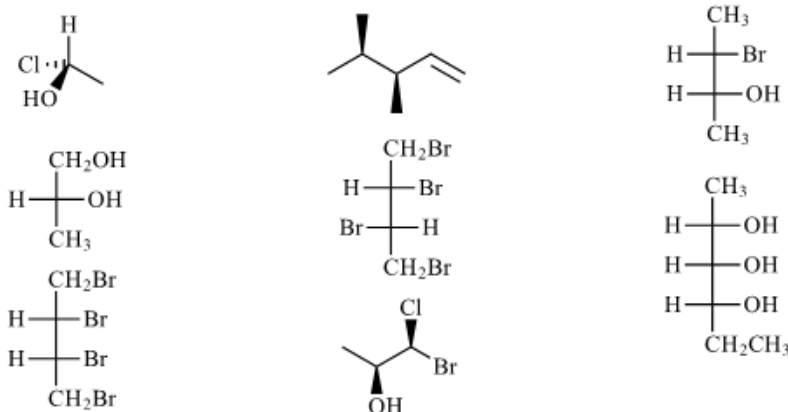
1. Convierta las siguientes fórmulas en proyecciones de Fischer.



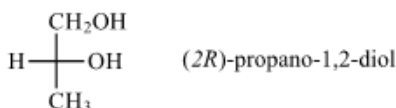
2. Convierta las siguientes proyecciones de Fischer a las fórmulas en perspectiva.



3. Para cada estructura,
 - a) Identifique cada átomo de carbono asimétrico.
 - b) Determine la configuración de cada carbono asimétrico como (*R*) o (*S*).
 - c) Indique si la estructura es quiral o aquiral. Indique el nombre correcto según IUPAC para cada sustancia.

**Actividades - Parte B:**

- Dibuje una proyección de Fischer para cada compuesto. Recuerde que la cruz representa un átomo de carbono asimétrico, y que la cadena de carbonos debe estar a lo largo de la vertical con la numeración IUPAC de arriba hacia abajo.
 - (2*S*)-Propano-1,2-diol
 - (2*R*)-2-Bromobutan-1-ol
 - (2*S*)-1,2-Dibromobutano
 - (2*R*)-Butan-2-ol
- ¿Las propiedades físicas del (2*R*)-propano-1,2-diol son idénticas o diferentes a su enantiómero? Explique su respuesta.

**Bibliografía y recursos adicionales**

- Wade Jr. L., G.; Simek J. W. *Organic Chemistry*, 9th ed; Pearson Glenview, IL.: 2017; pp 237-282.
- McMurry John. *Organic Chemistry*, 9th ed; Cengage Learning: 2018; pp 115-148.
- Bruice Paula Yurkanis. *Organic Chemistry* 5th ed; Pearson: 2008; pp 200-257.
- <https://app-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science-education-library/1618/stereoisomerism> (JoVE, Organic Chemistry, Chapter 4: Stereoisomerism)
- <https://es.khanacademy.org/science/organic-chemistry/stereochemistry-topic> (Khan Academy, Química orgánica, Unidad 4: Estereoquímica)
- ChemDoodle (PC, Mac y móvil) <https://www.ichemlabs-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/download>
- ChemSketch (PC). https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/#chemsketch_modal
- King Draw (Android y PC). https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kingagroot.kingdraw&hl=es_CO&pli=1

Anexo B5. Guía IV del grupo experimental y de control

Laboratorio de Química Orgánica I – Guía instructiva IV



EVALUACIÓN DEL USO DE MODELOS MOLECULARES FÍSICOS TRIDIMENSIONALES EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA EN EL CURSO DE QUÍMICA ORGÁNICA I

Nombre: _____ Código: _____ Grupo: _____

Esterеоquímica: Enantiómeros y diastereoisómeros

Los estereoisómeros se definen como isómeros cuyos átomos están conectados en el mismo orden, pero difieren en su disposición espacial. Ya se ha mencionado a los enantiómeros, que son imágenes especulares. Por otro lado, todos los estereoisómeros que no son imágenes especulares se clasifican como **diastereoisómeros** o **diasterómeros**. La mayoría de los diasterómeros corresponden a isómeros geométricos o a compuestos con dos o más centros quirales. Por ejemplo, los dos isómeros del but-2-eno no son imágenes especulares entre sí, por lo que no se consideran enantiómeros; son diasterómeros.

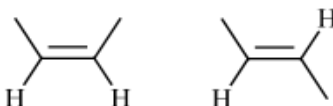


Figura 1. Estructura molecular de cis-but-2-eno y trans-but-2-eno.

La mayoría de los compuestos que presentan diastereomería, además de los isómeros geométricos, tienen dos o más centros quirales, generalmente átomos de carbono asimétricos. Por ejemplo, el 2-bromo-3-clorobutano contiene dos carbonos asimétricos y existe en dos formas diastereoméricas.



Figura 2. Diasterómeros de moléculas con dos centros quirales.

Estas dos estructuras no son idénticas; son estereoisómeros debido a la diferencia en la disposición espacial de sus átomos, y no enantiómeros. En la Figura 2 se aprecia que el carbono C2 en las dos estructuras presenta configuración (S), mientras que el carbono C3 es (R) en la estructura de la izquierda y (S) en la de la derecha. Aunque los carbonos C3 son imágenes especulares, los carbonos C2 no lo son. Para que estos compuestos fueran enantiómeros, ambos carbonos asimétricos tendrían que ser simultáneamente imágenes especulares entre sí.

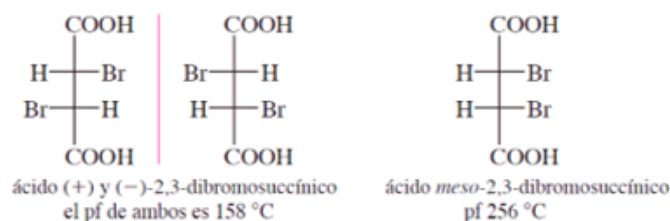


Figura 3. Diferencias del punto de fusión de los diastereómeros del ácido 2,3-dibromosuccínico.

Los enantiómeros tienen propiedades físicas idénticas, salvo por la dirección en que desvían la luz polarizada. En cambio, los diastereómeros presentan propiedades físicas diferentes, lo que permite diferenciarlos fácilmente. Por ejemplo, el *cis*-but-2-eno tiene un momento dipolar y un punto de ebullición más alto que el *trans*-but-2-eno, debido a la suma o cancelación de sus momentos dipolares. Otros casos, como los diastereómeros del ácido 2,3-dibromosuccínico o los azúcares (glucosa y galactosa), muestran diferencias notables en puntos de fusión y otras propiedades. Estas diferencias permiten separar los diastereómeros mediante métodos convencionales como destilación, recristalización o cromatografía, a diferencia de los enantiómeros, cuya separación requiere técnicas más complejas.

Importancia de los modelos moleculares físicos tridimensionales

Los modelos moleculares tridimensionales son esenciales en la educación química porque facilitan la comprensión espacial de estructuras complejas, ayudan a interpretar fenómenos moleculares y muestran cómo se ensamblan las moléculas en sistemas biológicos o en materiales. En estereoquímica, permiten identificar quiralidad, configuraciones espaciales y diferencias entre isómeros, fundamentales para entender la actividad biológica de compuestos y desarrollar habilidades críticas para la investigación y aplicación química.

Recurso material

- ❖ Caja de modelos moleculares físicos tridimensionales. La caja contiene piezas plásticas (esferas y varillas que representan átomos y enlaces) así: hidrógenos (naranja), carbonos sp^3 (negro), oxígenos (azul claro), nitrógenos (azul oscuro), cloros (verde), enlaces cortos (blanco) y enlaces largos (blanco).

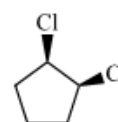
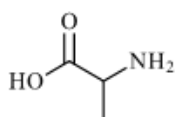
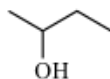
Indicadores de aprendizaje

- ❖ Interpretar la estructura tridimensional de moléculas orgánicas pequeñas (<500 g/mol).
- ❖ Clasificar moléculas como quirales o aquirales, e identificar planos de simetría especular.
- ❖ Determinar la configuración absoluta (*R/S*) de centros quirales mediante el uso de las reglas de Cahn-Ingold-Prelog.
- ❖ Identificar enantiómeros y diastereómeros.

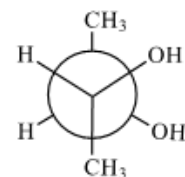
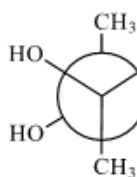
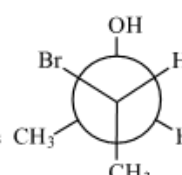
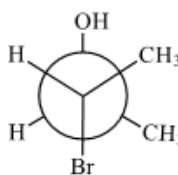
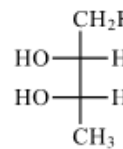
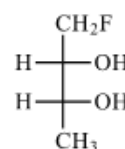
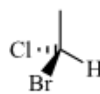
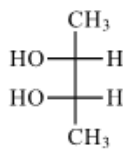
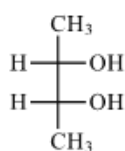
- ❖ Dibujar e interpretar correctamente las proyecciones de Fischer de átomos de carbono asimétricos.
- ❖ Explicar cómo difieren las propiedades físicas de los distintos tipos de estereoisómeros.

Actividades - Parte A:

1. Construya empleando los modelos moleculares una estructura tridimensional de cada compuesto e identifique los átomos de carbono asimétricos. Construya además la imagen especular de cada estructura y diga si ha construido un par de enantiómeros o simplemente la misma molécula dos veces.



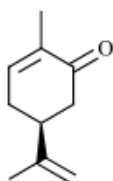
2. Indique las relaciones estereoquímicas entre cada par de estructuras (mismo compuesto, isómeros estructurales, enantiómeros, diastereoisómeros).



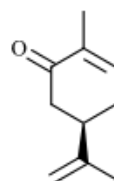
Actividades - Parte B:

1. La carvona es un compuesto orgánico clasificado como un monoterpenoide, presente de forma natural en los aceites esenciales de plantas como la hierbabuena, la alcaravea y el eneldo. Diversos estudios toxicológicos han demostrado que su inhalación en condiciones naturales no representa un riesgo para la salud humana, incluso con exposición repetida a concentraciones

comunes en ambientes aromáticos o terapéuticos. Por ello, se considera segura para el sentido del olfato en usos cotidianos y no representa un compuesto volátil de preocupación.



(+)-carvona (semilla de alcaravea)

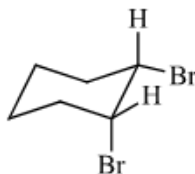


(-)-carvona (hierbabuena)

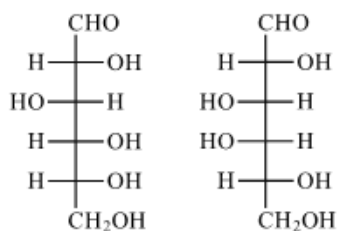
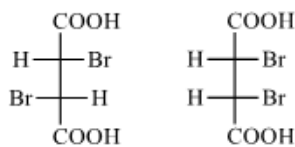
Si tuviera los dos enantiómeros de la carvona en botellas no etiquetadas, ¿podría utilizar únicamente su nariz y un polarímetro para determinar:

- si es el enantiómero (+) o el (-) el que huele a hierbabuena?
- si es el enantiómero (*R*) o el (*S*) el que huele a hierbabuena?
- Con las estructuras de los dos enantiómeros de la carvona, ¿qué más puede añadir a las respuestas de los incisos a y b?

2. ¿El *cis*-1,2-dibromociclohexano es quiral? ¿Es ópticamente activa?



3. ¿El siguiente par de moléculas son enantiómeros o diastereoisómeros? ¿Sus propiedades físicas son idénticas o diferentes? ¿Son ópticamente activos? ¿Se podrían separar por recristalización o destilación?





Bibliografía y recursos adicionales

- Wade Jr. L., G.; Simek J. W. *Organic Chemistry*, 9th ed; Pearson Glenview, IL.: 2017; pp 237-282.
- McMurry John. *Organic Chemistry*, 9th ed; Cengage Learning: 2018; pp 115-148.
- Bruice Paula Yurkanis. *Organic Chemistry* 5th ed; Pearson: 2008; pp 200-257.
- <https://app-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science-education-library/1618/stereoisomerism> (JoVE, Organic Chemistry, Chapter 4: Stereoisomerism)
- <https://es.khanacademy.org/science/organic-chemistry/stereochemistry-topic> (Khan Academy, Química orgánica, Unidad 4: Estereoquímica)
- ChemDoodle (PC, Mac y móvil) <https://www-ichemlabs-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/download>
- ChemSketch (PC). https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/#chemsketch_modal
- King Draw (Android y PC). https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kingagroot.kingdraw&hl=es_CO&pli=1

Anexo C. Guías docentes

Para acompañar el desarrollo de las actividades en ambos grupos, se elaboraron guías docentes paralelas que contenían la resolución detallada de las actividades propuestas en cada sesión, así como orientaciones pedagógicas específicas para su implementación. Estas guías reproducen en gran medida la estructura y el contenido de las guías entregadas a los estudiantes, diferenciándose únicamente en la inclusión de explicaciones y respuestas orientadas al docente. Dado que su extensión es considerable y que resultarían redundantes en relación con las guías estudiantiles ya presentadas, no se incluyen de manera íntegra en este documento. No obstante, las versiones completas están disponibles para los evaluadores que las requieran mandando un correo a: paula2210122@correo.uis.edu.co en su defecto a jurbina@uis.edu.co , alizcano@uis.edu.co o jitorres@uis.edu.co.

Acceso al sitio de AVA-UIS MOODLE en:

<https://lms.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=21442>

Anexo D. Resultados examen diagnóstico escrito

Tabla 1

Resultados examen diagnóstico escrito del grupo experimental.

Examen diagnóstico escrito grupo experimental						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	0,33	0,60	0,70	0,00	0,85	2,48
2	0,50	0,30	0,00	0,33	0,85	1,98
3	0,50	0,80	0,00	0,67	0,50	2,47
4	1,00	0,60	0,70	0,33	0,67	3,30
5	0,67	0,60	0,00	0,33	0,50	2,10
6	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,80
7	0,60	0,30	0,30	0,67	0,50	2,37
8	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50
9	1,00	1,00	0,00	0,00	0,50	2,50
10	0,50	0,80	0,00	0,00	0,00	1,30
11	0,16	1,00	0,70	1,00	1,00	3,86
12	0,67	1,00	0,80	0,00	0,80	3,27
13	0,40	0,60	0,00	0,00	0,33	1,33
14	0,10	0,60	0,70	0,33	1,00	2,73
15	0,16	0,60	0,50	0,33	0,80	2,39
16	1,00	1,00	0,60	1,00	0,16	3,76
Promedio	0,54	0,69	0,31	0,31	0,53	2,38

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

23.

Tabla 2

Resultados examen diagnóstico escrito del grupo de control.

Examen diagnóstico escrito grupo de control						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	1,00	1,00	0,00	0,67	0,00	2,67
2	0,50	0,80	0,60	0,00	0,50	2,40
3	0,67	0,80	0,60	0,33	0,00	2,40
4	0,80	1,00	0,00	0,00	0,00	1,80
5	0,50	1,00	0,00	0,33	0,50	2,33
6	0,33	0,30	0,00	0,33	0,00	0,96
7	0,50	1,00	0,00	1,00	0,00	2,50
8	0,67	0,50	0,60	0,00	0,50	2,27
9	0,00	0,40	0,00	0,67	0,00	1,07
10	0,50	0,90	0,00	0,33	0,00	1,73
11	0,00	1,00	0,00	0,67	0,00	1,67
12	1,00	1,00	1,00	0,00	0,85	3,85
13	0,00	0,80	0,60	0,33	0,85	2,58
14	0,00	0,80	0,00	0,33	0,00	1,13
15	0,33	0,70	0,40	0,33	0,00	1,76
Promedio	0,45	0,80	0,25	0,35	0,21	2,07

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

23.

Anexo E. Resultados examen parcial I escrito

Tabla 3

Resultados examen parcial I escrito del grupo experimental.

Examen parcial I escrito grupo experimental						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	0,30	0,50	0,50	1,00	1,00	3,30
2	0,75	0,00	0,20	0,70	0,80	2,45
3	0,50	0,70	0,80	0,70	0,00	2,70
4	1,00	0,60	0,70	0,90	1,00	4,20
5	1,00	0,80	0,40	0,70	0,00	2,90
6	1,00	0,25	0,80	1,00	0,00	3,05
7	0,25	0,75	0,40	0,50	0,70	2,60
8	0,90	0,80	0,60	0,60	0,80	3,70
9	1,00	0,50	0,60	0,85	0,90	3,85
10	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,70
11	0,50	0,00	0,00	0,00	0,80	1,30
12	0,60	0,50	0,20	0,60	0,00	1,90
13	0,25	0,50	0,40	1,00	0,50	2,65
14	0,75	0,50	0,40	0,90	0,00	2,55
15	1,00	0,50	0,70	1,00	0,50	3,70
16	0,80	0,75	0,80	1,00	0,80	4,15
Promedio	0,66	0,49	0,47	0,75	0,49	2,86

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

29.

Tabla 4

Resultados examen parcial I escrito del grupo de control.

Examen parcial I escrito grupo de control						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	0,85	0,75	0,80	1,00	0,10	3,50
2	0,50	0,60	0,20	1,00	0,80	3,10
3	0,00	0,25	0,70	0,80	0,50	2,25
4	0,80	0,60	0,40	1,00	0,50	3,30
5	1,00	0,60	0,70	0,85	0,80	3,95
6	0,90	0,60	0,40	0,80	0,00	2,70
7	0,60	0,50	0,50	0,80	0,80	3,20
8	1,00	0,25	0,40	0,80	0,50	2,95
9	0,75	0,85	0,00	0,30	0,00	1,90
10	0,80	0,50	0,50	1,00	0,00	2,80
11	1,00	0,85	0,80	1,00	0,50	4,15
12	1,00	1,00	0,70	1,00	0,00	3,70
13	1,00	0,25	0,60	1,00	0,00	2,85
14	0,80	0,75	0,30	0,50	0,00	2,35
15	1,00	0,75	0,50	1,00	0,00	3,25
Promedio	0,80	0,61	0,50	0,86	0,30	3,06

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

Anexo F. Resultados examen parcial II escrito

Tabla 5

Resultados examen parcial II escrito del grupo experimental.

Examen parcial II escrito grupo experimental					
Estudiante	C1	C2	C3	C4	Nota Final
1	1,00	0,00	0,50	0,50	2,00
2	1,00	0,40	1,00	0,00	2,40
3	0,80	0,60	0,50	0,00	1,90
4	0,90	0,20	2,00	1,00	4,10
5	1,00	0,50	1,50	0,00	3,00
6	0,90	0,70	1,00	0,20	2,80
7	0,80	0,20	0,00	0,20	1,20
8	1,00	0,80	2,00	0,00	3,80
9	1,00	0,70	0,50	0,60	2,80
10	0,70	0,00	0,50	0,60	1,80
11	0,80	0,70	1,00	0,50	3,00
12	1,00	0,40	1,00	0,60	3,00
13	1,00	0,80	0,50	0,00	2,30
14	0,60	0,80	1,00	0,00	2,40
15	1,00	0,70	1,00	0,50	3,20
16	0,80	0,60	1,00	0,00	2,40
Promedio	0,89	0,51	0,94	0,29	2,63

Nota. Las designaciones C1–C4 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

Tabla 6

Resultados examen parcial II escrito del grupo de control.

Examen parcial II escrito grupo de control					
Estudiante	C1	C2	C3	C4	Nota Final
1	0,80	0,80	1,50	0,00	3,10
2	0,60	0,80	1,00	0,60	3,00
3	0,60	0,80	1,00	1,00	3,40
4	0,80	0,60	1,50	0,00	2,90
5	0,80	0,80	1,50	1,00	4,10
6	0,20	0,50	1,00	0,00	1,70
7	0,80	0,50	0,50	0,50	2,30
8	0,50	0,30	1,00	0,80	2,60
9	0,00	0,30	0,50	0,00	0,80
10	1,00	1,00	0,50	0,30	2,80
11	1,00	0,80	1,50	1,00	4,30
12	1,00	0,50	1,50	0,40	3,40
13	0,80	0,80	1,00	0,50	3,10
14	0,20	0,50	0,00	0,00	0,70
15	0,80	1,00	1,00	0,20	3,00
Promedio	0,66	0,67	1,00	0,42	2,75

Nota. Las designaciones C1–C4 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

31.

Anexo G. Resultados de los exámenes acumulativos escrito

Tabla 7

Resultados examen acumulativo escrito SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales del grupo experimental.

Examen acumulativo escrito sin MM3D grupo experimental						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	4,50
2	0,00	0,50	0,20	0,00	0,40	1,10
3	0,90	0,60	0,70	0,30	1,00	3,50
4	0,90	1,00	0,00	1,00	1,00	3,90
5	1,00	0,80	0,90	0,00	0,00	2,70
6	0,90	0,70	1,00	0,50	0,67	3,77
7	0,75	0,50	0,30	0,00	0,80	2,35
8	0,75	0,00	1,00	0,00	0,00	1,75
9	0,70	0,80	1,00	0,00	0,60	3,10
10	0,80	0,30	0,00	0,30	1,00	2,40
11	1,00	0,20	0,90	0,80	0,50	3,40
12	1,00	0,60	1,00	0,00	0,20	2,80
13	1,00	0,40	1,00	0,80	0,33	3,53
14	1,00	0,90	0,70	0,30	0,67	3,57
15	0,90	0,90	0,80	1,00	0,33	3,93
16	1,00	0,80	1,00	0,00	0,20	3,00
Promedio	0,83	0,61	0,72	0,38	0,54	3,08

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

Tabla 8

Resultados examen acumulativo escrito SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales del grupo de control.

Examen acumulativo escrito sin MM3D grupo de control						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	1,00	0,80	1,00	0,50	0,00	3,30
2	0,90	0,20	0,70	0,50	1,00	3,30
3	1,00	0,60	1,00	0,50	1,00	4,10
4	0,70	0,60	1,00	1,00	0,33	3,63
5	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	4,60
6	0,40	0,00	0,80	0,30	0,00	1,50
7	0,90	0,60	0,90	0,00	0,33	2,73
8	0,75	0,30	0,00	0,80	0,33	2,18
9	0,75	0,50	0,20	0,50	0,67	2,62
10	0,25	0,70	0,60	0,50	0,00	2,05
11	1,00	0,60	1,00	0,30	1,00	3,90
12	0,75	0,60	0,70	1,00	1,00	4,05
13	0,90	0,60	0,60	0,50	0,33	2,93
14	0,75	0,00	0,00	0,00	0,33	1,08
15	0,70	0,60	0,00	1,00	0,00	2,30
Promedio	0,78	0,50	0,63	0,56	0,47	2,95

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

23.

Tabla 9

Resultados examen acumulativo escrito CON los modelos moleculares físicos tridimensionales del grupo experimental.

Examen acumulativo escrito con MM3D grupo experimental						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	0,25	0,90	0,50	0,50	1,00	3,15
2	0,50	0,90	0,70	0,70	0,90	3,70
3	0,40	0,60	1,00	1,00	0,20	3,20
4	1,00	0,90	1,00	0,70	1,00	4,60
5	0,70	0,70	0,20	0,50	0,00	2,10
6	0,90	0,90	0,80	0,50	0,33	3,43
7	0,50	0,20	0,60	0,70	0,20	2,20
8	0,50	0,90	1,00	0,30	0,00	2,70
9	0,20	0,80	1,00	0,00	1,00	3,00
10	0,50	0,50	0,00	0,70	1,00	2,70
11	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	3,90
12	0,70	0,90	0,40	0,50	0,67	3,17
13	0,40	0,60	1,00	0,30	1,00	3,30
14	0,90	0,60	1,00	1,00	1,00	4,50
15	0,00	1,00	1,00	0,50	0,20	2,70
16	0,40	0,90	0,80	0,30	0,50	2,90
Promedio	0,52	0,74	0,75	0,58	0,63	3,20

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

23.

Tabla 10

Resultados examen acumulativo escrito CON los modelos moleculares físicos tridimensionales del grupo de control.

Examen acumulativo escrito con MM3D grupo de control						
Estudiante	C1	C2	C3	C4	C5	Nota Final
1	1,00	0,70	0,60	0,00	1,00	3,30
2	0,70	0,50	1,00	0,50	0,67	3,37
3	0,90	0,00	0,50	0,00	0,50	1,90
4	0,50	0,90	0,70	1,00	0,67	3,77
5	0,40	0,90	1,00	0,50	0,70	3,50
6	0,75	0,50	0,70	0,30	0,00	2,25
7	0,70	0,70	1,00	0,00	0,67	3,07
8	0,75	0,80	0,80	0,00	0,33	2,68
9	0,15	1,00	0,70	0,70	1,00	3,55
10	0,50	0,00	1,00	0,70	0,00	2,20
11	0,70	0,00	1,00	0,00	0,00	1,70
12	0,70	0,90	1,00	1,00	0,67	4,27
13	0,90	0,40	0,40	1,00	0,90	3,60
14	0,75	0,00	0,00	0,00	0,50	1,25
15	0,15	0,90	0,20	0,50	0,00	1,75
Promedio	0,64	0,55	0,71	0,41	0,51	2,81

Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la **Figura**

23.

Anexo H. Resultados de los exámenes a través del AVA-UIS [Moodle 4.4]

Tabla 11

Resultados de los exámenes a través del AVA-UIS para el grupo experimental (Apéndice J).

Resultados de los exámenes a través del AVA-UIS para el grupo experimental				
Estudiante	Diagnóstico	Parcial I	Parcial II	Acumulativo
1	0,0	1,0	1,0	2,0
2	2,0	2,0	1,0	2,0
3	1,0	3,0	2,0	2,0
4	2,0	3,0	2,0	2,0
5	2,0	2,0	0,0	2,0
6	4,0	2,0	1,0	2,0
7	0,0	1,0	1,0	1,0
8	2,0	5,0	5,0	4,0
9	3,0	4,0	0,0	2,0
10	2,0	3,0	3,0	2,0
11	2,0	1,0	2,0	3,0
12	0,0	3,0	1,0	1,0
13	1,0	2,0	2,0	3,0
14	1,0	4,0	2,0	1,0
15	1,0	3,0	1,0	1,0
16	2,0	3,0	1,0	4,0
Promedio	1,5	2,6	1,6	2,1

Nota. Las condiciones de aplicación y selección de ítems en el AVA-UIS se describen en la Nota general (ver **Figura 24**).

Tabla 12

Resultados de los exámenes a través del AVA-UIS para el grupo de control (Apéndice J).

Resultados de los exámenes a través del AVA-UIS para el grupo de control				
Estudiante	Diagnóstico	Parcial I	Parcial II	Acumulativo
1	4,0	3,0	0,0	3,0
2	2,0	2,0	1,0	0,0
3	3,0	3,0	1,0	2,0
4	0,0	2,0	5,0	0,0
5	3,0	2,0	1,0	1,0
6	1,0	3,0	2,0	3,0
7	3,0	1,0	1,0	4,0
8	2,0	2,0	4,0	3,0
9	2,0	4,0	1,0	1,0
10	2,0	1,0	1,0	4,0
11	0,0	4,0	2,0	5,0
12	1,0	3,0	1,0	5,0
13	0,0	4,0	1,0	0,0
14	2,0	4,0	1,0	3,0
15	2,0	4,0	1,0	2,0
Promedio	1,8	2,8	1,5	2,4

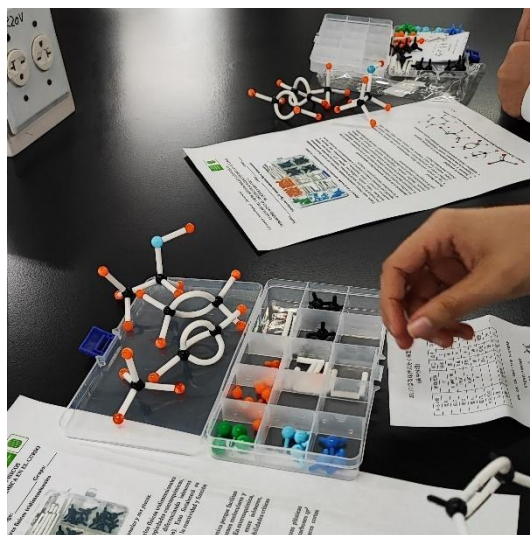
Nota. Las condiciones de aplicación y selección de ítems en el AVA-UIS se describen en la Nota general (ver **Figura 24**).

Anexo I. Evidencia fotográfica de la implementación de modelos moleculares físicos

A continuación, se presentan algunas imágenes representativas del proceso de implementación de los modelos moleculares físicos tridimensionales durante las sesiones de trabajo y evaluaciones. Estas evidencias visuales ilustran el uso del material didáctico por parte de los estudiantes en actividades guiadas y evaluativas, así como su papel en la comprensión de conceptos relacionados con la estereoquímica.

Figura 1

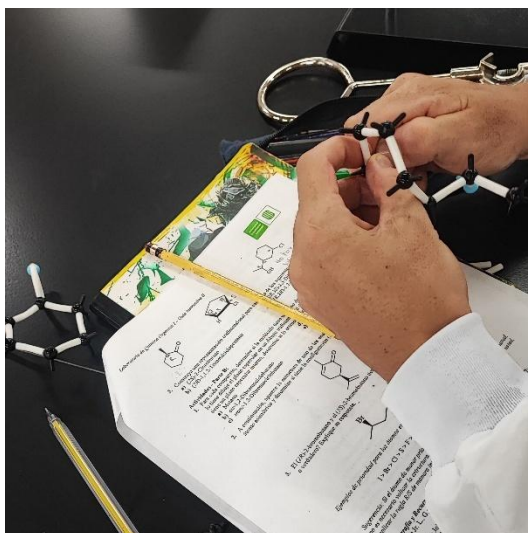
Uso inicial de modelos moleculares físicos tridimensionales



Nota. Autoría propia. Primera sesión de trabajo con modelos moleculares físicos tridimensionales. Los estudiantes construyen distintas moléculas como actividad introductoria, con el objetivo de familiarizarse con la representación tridimensional de las estructuras y el manejo del material.

Figura 2

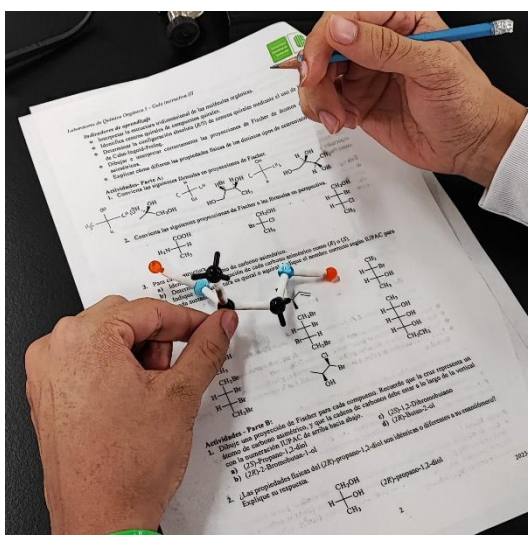
Identificación de carbonos quirales y configuración absoluta mediante modelos



Nota. Autoría propia. Uso de modelos moleculares físicos tridimensionales para la identificación de carbonos quirales y la determinación de la configuración absoluta. Los estudiantes emplean el modelo como apoyo para visualizar la disposición espacial de los sustituyentes.

Figura 3

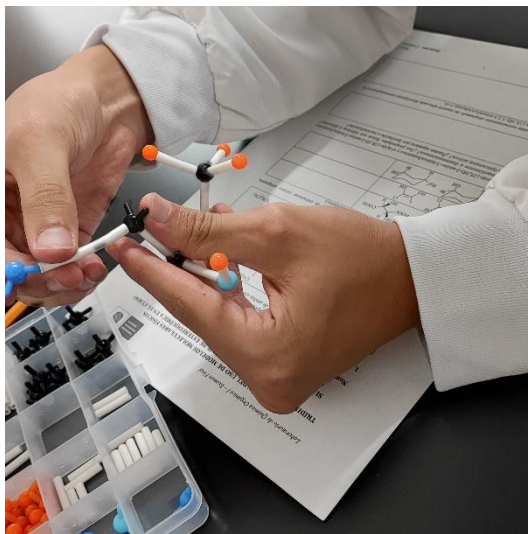
Conversión entre fórmula en perspectiva y proyección de Fischer durante una actividad guiada



Nota. Autoría propia. Aplicación de los modelos moleculares en una actividad de guía, orientada a la interpretación y conversión entre una fórmula en perspectiva y una proyección de Fischer, facilitando la visualización tridimensional de la molécula.

Figura 4

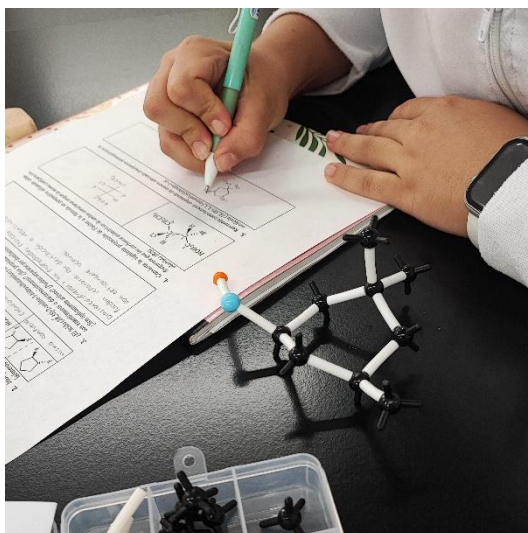
Uso de modelos moleculares en evaluación final (post-test)



Nota. Autoría propia. Empleo de modelos moleculares físicos tridimensionales durante una evaluación final (post-test), en la cual los estudiantes utilizan el material para comprender la disposición espacial de la molécula y realizar la conversión entre representaciones estructurales.

Figura 5

Construcción del modelo como apoyo para representación con descriptores estereoquímicos



Nota. Autoría propia. Estudiante construyendo un modelo molecular físico tridimensional como paso previo al dibujo de la estructura molecular en el post-test, con el fin de representar adecuadamente la estereoquímica de la molécula.

Estas evidencias visuales complementan el análisis cualitativo, mostrando de manera directa la interacción de los estudiantes con los modelos moleculares y su uso como herramienta de apoyo en actividades de aprendizaje y evaluación.

Apéndice A. Percepción docente sobre la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica en el aula

Este apéndice presenta el instrumento aplicado a los docentes de la Escuela de Química con el fin de identificar su percepción sobre la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica. Incluye información relacionada con su formación académica, experiencia docente, preparación pedagógica, estrategias utilizadas en el aula y las dificultades que, desde su perspectiva, presentan los estudiantes frente a estos contenidos.

Apéndice B. Percepción estudiantil de la enseñanza y aprendizaje de estereoquímica en el curso de QOI

Este apéndice contiene la encuesta aplicada a estudiantes de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander matriculados en el semestre 2026-1, orientada a conocer su percepción sobre la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica en el curso de Química Orgánica I. Se incluyen preguntas relacionadas con las estrategias empleadas por el docente, los recursos didácticos utilizados y su utilidad en el proceso de aprendizaje, así como la valoración general de la experiencia académica en esta temática.

Apéndice C. Exámenes diagnósticos

Este apéndice reúne los cuatro exámenes diagnósticos aplicados antes de la intervención, junto con sus respectivas soluciones. Estos instrumentos permitieron identificar el nivel inicial de comprensión de los estudiantes en relación con los conceptos fundamentales de estereoquímica.

Apéndice D. Exámenes parciales I

En este apéndice se presentan los cuatro exámenes correspondientes al primer parcial, acompañados de sus respectivas soluciones. Estos instrumentos formaron parte del proceso de evaluación del curso y permitieron analizar el desempeño académico de los estudiantes en una etapa intermedia de la intervención.

Apéndice E. Exámenes parciales II

Este apéndice incluye los cuatro exámenes correspondientes al segundo parcial, junto con sus respectivas soluciones. Estos instrumentos contribuyeron al seguimiento del progreso académico de los estudiantes posterior al desarrollo de los contenidos centrales de la intervención.

Apéndice F. Exámenes finales SIN modelos

Este apéndice presenta los exámenes finales aplicados sin el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales, junto con sus respectivas soluciones. Dichas evaluaciones fueron realizadas tanto por el grupo experimental como por el grupo de control, con el propósito de establecer un punto de comparación previo al uso de los modelos en el proceso evaluativo.

Apéndice G. Exámenes finales CON modelos

En este apéndice se incluyen los exámenes finales aplicados con el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales, junto con sus respectivas soluciones. Estas evaluaciones fueron desarrolladas por ambos grupos (experimental y de control), permitiendo analizar el desempeño académico bajo la misma condición metodológica e identificar posibles diferencias asociadas al proceso de intervención.

Apéndice H. Bitácora de observaciones durante las sesiones de intervención

Este apéndice corresponde a la bitácora elaborada durante las sesiones de intervención, en la cual se registraron observaciones relacionadas con la dinámica de trabajo, la participación de los estudiantes y el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales.

Apéndice I. Respuestas de encuestas de satisfacción

Este apéndice contiene las respuestas obtenidas en las encuestas de satisfacción aplicadas a los estudiantes que participaron en la intervención (grupo experimental y grupo de control). En ellas se recoge la percepción de los participantes respecto a la dinámica implementada, el nivel de compromiso, la comprensión alcanzada y la valoración general de la experiencia pedagógica.

Apéndice J. Resultados de los exámenes realizados a través del AVA-UIS

Este apéndice presenta los resultados obtenidos en las evaluaciones desarrolladas mediante la plataforma institucional AVA-UIS, con información descargada y organizada de forma anónima. Se incluyen las calificaciones registradas en el sistema, con el propósito de respaldar el desarrollo de la intervención y el análisis de los resultados académicos.