

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Evaluación del Uso de Modelos Moleculares Físicos Tridimensionales en el Aprendizaje de  
Estereoquímica en el Curso de Química Orgánica I  
*Práctica en Docencia*

Paula Andrea Renteria Palenque

Trabajo de Grado para Optar al Título de Química

Director

Juan Manuel Urbina González

Químico, Dr. rer. nat.

Codirectora

Adriana Rocío Lizcano Dallos

Magister en Tecnologías de la Información aplicadas a la Educación

Doctora en Educación y Sociedad

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Bucaramanga

2026

**Dedicatoria**

*A mí, por no rendirme cuando el camino se llenó de dudas y obstáculos,  
por seguir avanzando incluso en los momentos en que parecía más fácil  
detenerme. Por comprender que **el cambio es lo único eterno** y que  
transformarme era necesario para crecer.  
Por atreverme a acercarme al mundo de la pedagogía, ese que soñé desde  
pequeña y que empieza a convertirse en realidad.  
Este es el primer paso hacia aquello que amo profundamente.*

### **Agradecimientos**

A la Escuela de Química y a la Universidad Industrial de Santander, por brindarme el espacio y la confianza para desarrollar este trabajo de investigación en educación, permitiéndome explorar un camino que, aunque distinto dentro de mi formación, siempre sentí cercano a mi vocación.

A mi director, Juan Manuel Urbina González, porque sin su respaldo este proyecto no habría tomado forma; gracias por sostener esta idea desde el inicio, por orientarme con rigor, retarme académicamente y caminar conmigo en cada etapa del proceso, y por hacer posible que se consolide como una realidad. A la profesora Adriana Rocío Lizcano Dallos, mi codirectora, por abrirme las puertas al campo educativo con generosidad y sensibilidad, y por guiarme en la comprensión de fundamentos que ampliaron mi mirada profesional, permitiéndome acercarme a la pedagogía con mayor claridad y profundidad.

Al profesor Julio Pinzón, por facilitar el proceso de aplicación de encuestas; a las profesoras Geraldine Álvarez y Diana Ardila, por permitir el espacio en el laboratorio y sumar su tiempo a esta iniciativa; y a los estudiantes participantes, por su disposición y por hacer posible, con su participación, la construcción de este proyecto.

A mi mamá, a mi hermana y a mi nono, por ser mi sostén en cada semestre, en los días de incertidumbre y en cada logro alcanzado. Gracias por la paciencia, las palabras oportunas y el amor constante. A mis hijos gatunos, Floki y Franchesco, por su compañía silenciosa, que tantas veces fue refugio y calma en medio del estrés.

A Daniel Pineda, mi hermano de vida, por estar presente incluso en los momentos en que yo dudaba de mí misma. A mis amigos más cercanos, Laura Rojas, Ángel Tibaduiza, Kevin Moreno, Stiven Galeano y Daniel Pimiento, por compartir este proceso con sinceridad y cercanía. Y a Haider Cristancho, Manuela Buitrago, Diego Plata y Astrid Carreño, quienes en distintas etapas aportaron a mi crecimiento personal y académico; cada aprendizaje compartido también hace parte de este logro.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	15
1. Planteamiento del Problema .....	18
1.1. Hipótesis .....	18
1.1.1. Hipótesis 1 .....	18
1.1.2. Hipótesis 2 .....	18
1.1.3. Hipótesis 3 .....	19
1.2. Justificación .....	19
2. Objetivos .....	21
2.1. Objetivo general .....	21
2.2. Objetivos específicos .....	21
3. Marco Teórico .....	22
3.1. Química orgánica .....	22
3.2. Estructura atómica y molecular .....	23
3.2.1. Estructura atómica .....	23
3.2.2. Estructura molecular .....	25
3.2.2.1. Hibridación de orbitales .....	27
3.2.2.2. Isomería .....	28
3.2.2.3. Modelos moleculares bidimensionales .....	29
3.3. Modelos tridimensionales .....	33
3.4. Modelos moleculares tridimensionales .....	35
3.4.1. Modelos de esferas y varillas .....	35
3.4.2. Modelos de espacio lleno .....	38
3.4.3. Modelos de varillas y actualidad .....	39
3.4.4. Representaciones y proyecciones .....	40
3.5. Estereoquímica .....	43
3.6. Habilidades visoespaciales y su conexión con la estereoquímica .....	48
3.7. Modelo pedagógico de la UIS .....	50
3.8. Educación y desarrollo de competencias en ciencias .....	52
3.9. Aprendizaje activo y mediado .....	54

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

3.9.1.	Relación profesor-alumno en el aprendizaje activo y mediado .....	56
3.9.2.	Procesos vinculados del aprendizaje activo y mediado .....	56
3.9.3.	Evaluación en el aprendizaje activo y mediado .....	57
3.10.	Diseño <i>cuasi</i> experimental de grupo de control no equivalente .....	58
3.11.	Prueba <i>t de Student</i> .....	61
4.	Metodología .....	63
4.1.	Muestra de investigación .....	63
4.2.	Materiales.....	63
4.3.	Análisis pre-exploratorio sobre la percepción docente y estudiantil ante el tema del curso .....	63
4.4.	Elaboración de guías instructivas y del docente, actividades, exámenes diagnósticos, evaluaciones parciales y exámenes acumulativos.....	64
4.5.	Aplicación y análisis del estudio.....	65
4.5.1.	Desarrollo de la intervención .....	66
4.5.2.	Evaluaciones parciales y exámenes finales aplicados .....	67
4.5.3.	Análisis de los datos.....	68
4.6.	Consideraciones éticas .....	68
5.	Resultados y Análisis .....	70
5.1.	Percepción docente y estudiantil ante la estereoquímica en el curso de Química Orgánica I.....	70
5.1.1.	Percepción docente .....	70
5.1.1.1.	Caracterización del profesorado participante.....	70
5.1.1.2.	Dificultades percibidas en el aprendizaje de la estereoquímica.....	71
5.1.1.3.	Estrategias y recursos didácticos utilizados por los profesores. ....	74
5.1.1.4.	Tiempo destinado a la enseñanza de la estereoquímica. ....	76
5.1.1.5.	Actitudes y percepciones frente al uso de recursos didácticos. ....	77
5.1.2.	Percepción estudiantil .....	79
5.1.2.1.	Caracterización académica de los estudiantes. ....	79
5.1.2.2.	Dificultades percibidas en el aprendizaje. ....	81
5.1.2.3.	Estrategias y recursos utilizados en la enseñanza. ....	83
5.1.2.4.	Claridad, motivación, tiempo y retención del aprendizaje. ....	85

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

5.1.2.5.	Apreciaciones frente al uso de modelos moleculares físicos.....	86
5.1.2.6.	Valoraciones cualitativas. ....	87
5.2.	Elaboración de guías y exámenes .....	89
5.2.1.	Guías para el estudiante .....	89
5.2.2.	Guía para el docente.....	91
5.2.3.	Examen diagnóstico .....	91
5.2.4.	Examen parcial I .....	92
5.2.5.	Examen parcial II.....	93
5.2.6.	Exámenes acumulativos.....	95
5.3.	Aplicación y análisis del estudio.....	96
5.3.1.	Análisis de resultados del examen diagnóstico.....	97
5.3.2.	Análisis de resultados del examen parcial I.....	108
5.3.3.	Análisis de resultados del examen parcial II.....	113
5.3.4.	Análisis de resultados de los exámenes acumulativos.....	117
5.3.5.	Análisis pre-post por recurso pedagógico dentro de cada grupo .....	133
5.3.5.1.	SIN modelos moleculares físicos tridimensionales. ....	133
5.3.5.2.	CON modelos moleculares físicos tridimensionales. ....	137
5.3.6.	Análisis pre-post por recurso pedagógico entre los grupos .....	141
5.3.6.1.	SIN modelos moleculares físicos tridimensionales. ....	141
5.3.6.2.	CON modelos moleculares físicos tridimensionales. ....	143
5.3.7.	Análisis de la bitácora de observaciones en las sesiones.....	145
5.3.7.1.	Categoría 1. Interacción con los modelos moleculares tridimensionales. ....	147
5.3.7.2.	Categoría 2. Comprensión conceptual de la estereoquímica. ....	149
5.3.7.3.	Categoría 3. Actitudes y percepciones de los estudiantes.....	151
5.3.7.4.	Categoría 4. Condiciones de implementación. ....	154
5.3.7.5.	Categoría 5. Dinámica de trabajo en las sesiones. ....	156
5.3.8.	Análisis de las encuestas de satisfacción .....	158
5.3.8.1.	Innovación y adecuación pedagógica. ....	162
5.3.8.2.	Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica. ....	163
5.3.8.3.	Participación, motivación y compromiso. ....	165
5.3.8.4.	Usabilidad y experiencia.....	167

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

5.3.8.5.	Recomendación y proyección futura. ....	168
6.	Conclusiones .....	172
7.	Recomendaciones .....	174
	Referencias Bibliográficas .....	176

Apéndices

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> <i>Fuentes de invalidación para el diseño de grupo de control no equivalente.</i> .....	61
<b>Tabla 2</b> <i>Equivalencia de las preguntas entre el grupo experimental y el grupo de control, y dimensiones evaluadas.</i> .....	159

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Estructura atómica básica .....	24
<b>Figura 2</b> Orbitales $2p$ .....	25
<b>Figura 3</b> Geometría plana del etileno. ....	26
<b>Figura 4</b> Ángulos de enlace comunes para la hibridación $sp^3$ , $sp^2$ y $sp$ .....	28
<b>Figura 5</b> Tipos de isómeros .....	29
<b>Figura 6</b> Unión de átomos combinados en proporciones de John Dalton.....	31
<b>Figura 7</b> Representación de la glucosa con líneas en los enlaces (representación de Couper) .....	31
<b>Figura 8</b> Estructura de la acroleína en la notación de Loschmidt. ....	32
<b>Figura 9</b> Estructuras de Lewis (a la izquierda, de 1916, y a la derecha, de libro de texto actual), para etileno y etanol, respectivamente .....	33
<b>Figura 10</b> Representación de los modelos de Hofmann.....	36
<b>Figura 11</b> Primeros modelos de van't Hoff (1875) .....	37
<b>Figura 12</b> Conformaciones de bote y de silla del ciclohexano.....	37
<b>Figura 13</b> Anuncio de los modelos CPK en 1965 .....	39
<b>Figura 14</b> Representación de cuñas de la molécula de etano .....	40
<b>Figura 15</b> Proyección de Newman de la molécula de etano .....	41
<b>Figura 16</b> Proyección en caballote de la molécula de etano, eclipsada y alternada .....	42
<b>Figura 17</b> Proyección de Fischer del ácido ( <i>S</i> )-láctico.....	42
<b>Figura 18</b> Enantiómeros de un carbono asimétrico.....	44
<b>Figura 19</b> Configuraciones <i>R</i> y <i>S</i> de enantiómeros .....	45
<b>Figura 20</b> Isómeros <i>cis/trans</i> de la molécula but-2-eno .....	46
<b>Figura 21</b> Diasterómeros de moléculas con dos centros quirales. ....	47
<b>Figura 22</b> Ejemplos de compuestos <i>meso</i> y su plano especular interno. ....	48
<b>Figura 23</b> Porcentaje de logro o aciertos en cada una de las competencias en el examen diagnóstico escrito en ambos grupos (Anexo D).....	97
<b>Figura 24</b> Notas promedio de los exámenes diagnósticos escritos y a través del Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [Moodle.4.4] del grupo experimental y el grupo de control (Anexo D y Anexo H).....	99

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

<b>Figura 25</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico escrito en el grupo experimental.....	102
<b>Figura 26</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico a través del AVA-UIS en el grupo experimental.....	103
<b>Figura 27</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico escrito en el grupo de control.....	105
<b>Figura 28</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico a través del AVA-UIS en el grupo de control.....	106
<b>Figura 29</b> Porcentaje de logro o aciertos en cada una de las competencias en el examen parcial I escrito para ambos grupos (experimental y control) (Anexo E) .....	108
<b>Figura 30</b> Notas promedio de los exámenes parciales I escritos y a través del AVA-UIS, para el grupo experimental y el grupo de control (Anexo E y Anexo H).....	111
<b>Figura 31</b> Porcentaje de logro en cada una de las competencias en el examen parcial II escrito, en ambos grupos (experimental y control) (Anexo F) .....	113
<b>Figura 32</b> Notas promedio de los exámenes parciales II escritos y a través del AVA-UIS, del grupo experimental y el grupo de control (Anexo F y Anexo H).....	115
<b>Figura 33</b> Porcentaje de logro en cada una de las competencias en el examen acumulativo escrito, SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales, en ambos grupos (Anexo G).....	117
<b>Figura 34</b> Porcentaje de logro en cada una de las competencias en el examen acumulativo escrito, CON los modelos moleculares físicos tridimensionales, en ambos grupos (Anexo G).....	119
<b>Figura 35</b> Notas promedio de los exámenes acumulativos escritos y a través del AVA-UIS, para el grupo experimental y el grupo de control (Anexo G y Anexo H).....	122
<b>Figura 36</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo experimental.....	124
<b>Figura 37</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, CON los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo experimental.....	125
<b>Figura 38</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo a través del AVA-UIS en el grupo experimental.....	127
<b>Figura 39</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo de control.....	129

<b>Figura 40</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, CON los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo de control.....	130
<b>Figura 41</b> Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo a través del AVA-UIS en el grupo de control.....	131
<b>Figura 42</b> Evolución individual en el grupo experimental de las notas entre el pre- y el post-test SIN modelos.....	134
<b>Figura 43</b> Evolución individual en el grupo de control de las notas entre el pre- y el post-test SIN modelos.....	136
<b>Figura 44</b> Evolución individual en el grupo experimental de las notas entre el pre- y el post-test CON modelos.....	138
<b>Figura 45</b> Evolución individual en el grupo de control de las notas entre el pre- y el post-test CON modelos.....	140
<b>Figura 46</b> Comparación de las medias del post-test SIN modelos entre el grupo experimental y el grupo de control. ....	141
<b>Figura 47</b> Comparación de las medias del post-test CON modelos entre el grupo experimental y el grupo de control. ....	143

**Lista de Apéndices**

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

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

Apéndice C. Exámenes diagnósticos

Apéndice D. Exámenes parciales I

Apéndice E. Exámenes parciales II

Apéndice F. Exámenes finales SIN modelos

Apéndice G. Exámenes finales CON modelos

Apéndice H. Bitácora de observaciones durante las sesiones de intervención

Apéndice I. Respuestas de encuestas de satisfacción

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

### Resumen

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

**Autor:** Paula Andrea Renteria Palenque\*\*

**Palabras Clave:** modelos moleculares, estereoquímica, química orgánica, aprendizaje activo, educación en química

La estereoquímica constituye una de las principales dificultades en los cursos universitarios de Química Orgánica, debido a la necesidad de desarrollar habilidades visoespaciales para interpretar la estructura tridimensional de las moléculas. En este contexto, el presente estudio se desarrolló en el curso de Química Orgánica I de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander, con el objetivo de evaluar el impacto del uso de modelos moleculares físicos tridimensionales en el aprendizaje de la estereoquímica.

La investigación se abordó mediante un diseño *cuasiexperimental* con grupo experimental y grupo de control, aplicando pruebas diagnósticas (pre-test) y finales (post-test). Se adoptó un enfoque mixto que integró análisis cuantitativo del desempeño académico y análisis cualitativo a partir de observaciones de aula y percepciones estudiantiles.

Los resultados mostraron que, aunque no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, el uso de modelos moleculares se asoció con promedios ligeramente superiores y con valoraciones positivas por parte de los estudiantes. Los hallazgos cualitativos indicaron que la manipulación directa de los modelos favoreció la comprensión conceptual y la motivación académica, aunque su efectividad dependió de factores como el tiempo disponible y las dinámicas de clase.

En conclusión, el estudio aporta evidencia sobre el valor pedagógico de los modelos moleculares físicos como recurso didáctico, resaltando la importancia de considerar las condiciones metodológicas y contextuales en su implementación.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Programa de Química. Director: Juan Manuel Urbina González. Dr. rer. nat. Codirectora: Adriana Rocío Lizcano Dallos. Doctora en Educación y Sociedad

**Abstract**

**Title:** Evaluation of the three-dimensional physical molecular models use in learning stereochemistry within the Organic Chemistry I course \*

**Author:** Paula Andrea Renteria Palenque\*\*

**Key Words:** molecular models, stereochemistry, organic chemistry, active learning, chemistry education

Stereochemistry represents one of the primary challenges in undergraduate Organic Chemistry courses due to the need to develop visuospatial skills to interpret three-dimensional structures in molecules. In this context, the present study was conducted in the Organic Chemistry I course at the School of Chemistry of the Universidad Industrial de Santander, with the aim of evaluating the impact of physical three-dimensional molecular models on students' learning of stereochemistry.

The research followed a quasi-experimental design with an experimental group and a control group, applying diagnostic (pre-test) and final (post-test) assessments. A mixed-methods approach was adopted, integrating quantitative analysis of academic performance and qualitative analysis based on classroom observations and students' perceptions.

The results showed that, although no statistically significant differences were found between groups, the use of molecular models was associated with slightly higher average scores and positive student evaluations. Qualitative findings indicated that hands-on manipulation of the models supported conceptual understanding and increased academic motivation, although their effectiveness depended on factors such as available time and classroom dynamics.

In conclusion, this study provides evidence of the pedagogical value of physical molecular models as a didactic resource, highlighting the importance of considering methodological and contextual conditions in their implementation within organic chemistry education.

---

\* Degree Work

\*\* Science Faculty. School of Chemistry. Chemistry Program. Director: Juan Manuel Urbina González. Dr. rer. nat. Co-director: Adriana Rocío Lizcano Dallos. PhD in Education and Society

## **Introducción**

Desde el inicio del siglo XXI la enseñanza de la química ha experimentado significativas transformaciones debido a la integración de tecnologías avanzadas, especialmente con el uso de software educativos y simuladores virtuales (Clarke-Midura & Dede, 2010; Hrubeš et al., 2024). Estas herramientas han demostrado ser efectivas en la mejora del aprendizaje de conceptos fundamentales, la visualización de moléculas, las propiedades de sustancias, entre otras, facilitando así la capacidad de los estudiantes para resolver problemas teóricos, matemáticos y visuales. La interacción de los estudiantes con estas plataformas tecnológicas contribuye a una comprensión más profunda de los contenidos al permitir un enfoque más dinámico y práctico (Jones et al., 2018).

A pesar de la disponibilidad de herramientas tecnológicas, las metodologías de enseñanza en muchos cursos de química orgánica continúan siendo predominantemente tradicionales (Johnstone, 1991), centradas en la exposición de conceptos y de ejemplos por parte del profesor, lo que resulta en una memorización y repetición pasiva por parte de los estudiantes (Almeida et al., 2011; Wang et al., 2024). Esta metodología puede volverse tediosa y desmotivadora (Brown & Nedungadi, 2024; Luiza de Quadros et al., 2011) en cursos con un contenido extenso, como en los cursos universitarios de química orgánica, que abarcan temáticas de nomenclatura, estructuras moleculares, propiedades físicas, reacciones y sus mecanismos, grupos funcionales y estereoquímica, entre otros.

La estereoquímica, en particular, representa un desafío debido a la necesidad de habilidades visoespaciales para comprender la disposición tridimensional de los átomos en las moléculas orgánicas. La ausencia de recursos didácticos adecuados y de tiempo suficiente para la enseñanza de esta área puede resultar en una comprensión insuficiente. Esta comprensión deficiente no solo afecta el rendimiento académico inmediato, sino que también limita la capacidad de los estudiantes

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

para abordar temas avanzados en cursos posteriores relacionados con la quiralidad y la manipulación de estructuras moleculares complejas (Abraham et al., 2010; Alsfouk, 2022; Stull et al., 2016).

Adicionalmente, la falta de actualización en metodologías de enseñanza (Sjöström et al., 2020) por parte de algunos docentes puede constituir un obstáculo para la formación efectiva de futuros químicos profesionales. Dado que los estilos de aprendizaje varían entre los estudiantes (Alsfouk, 2022), es esencial adaptar los métodos de enseñanza para cubrir diversas necesidades, promoviendo un enfoque más práctico y activo que evite vacíos en el aprendizaje. En este contexto, el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales en la enseñanza de la estereoquímica emerge como una metodología prometedora. Aunque estos modelos se emplearon con frecuencia en el pasado, su uso ha disminuido con el tiempo, privando a los estudiantes de una herramienta invaluable. Recuperar esta práctica enriquecería el aprendizaje, permitiendo retomar una forma de enseñanza efectiva y estimulante. Estos modelos permiten una interacción tangible con representaciones físicas de las estructuras moleculares, facilitando un aprendizaje más profundo y motivador. La literatura actual respalda la eficacia de esta metodología, evidenciando mejoras cuantitativas en el aprendizaje al comparar representaciones bidimensionales tradicionales con modelos tridimensionales (Abraham et al., 2010; Alsfouk, 2022; Luiza de Quadros et al., 2011; Stull et al., 2016).

Con base en este panorama, en el presente trabajo de grado se evaluó el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales en la enseñanza de la estereoquímica dentro del curso de Química Orgánica I del programa de Química (Plan 11) de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander. Si bien estos modelos han sido empleados de manera ocasional como recurso de apoyo visual por parte de algunos profesores, su empleo no corresponde a una práctica

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

sistemática ni a un material de uso directo y permanente por parte de los estudiantes. En este sentido, la intervención propuesta buscó ampliar el acceso a este recurso didáctico y analizar su impacto como herramienta de aprendizaje activo en el desarrollo regular del curso.

La intervención se llevó a cabo a lo largo de varias sesiones académicas y fue evaluada mediante un enfoque metodológico mixto, que integró el análisis cuantitativo del desempeño académico con el análisis cualitativo de las percepciones estudiantiles, la dinámica de trabajo y las condiciones de implementación. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar el potencial de los modelos moleculares tridimensionales para favorecer la comprensión de los conceptos estereoquímicos y estimular una participación más activa de los estudiantes en el proceso de aprendizaje. Asimismo, el análisis integral de los datos aporta elementos para reflexionar sobre las condiciones pedagógicas y contextuales que inciden en la efectividad de este tipo de estrategias, contribuyendo a la discusión sobre la incorporación de metodologías innovadoras en la formación de futuros profesionales en química.

## 1. Planteamiento del Problema

Aunque la enseñanza de la química ha incorporado herramientas tecnológicas como simuladores y software educativos, muchos cursos aún mantienen enfoques tradicionales. Esto resulta problemático en asignaturas como Química Orgánica, donde la estereoquímica exige habilidades visoespaciales que no se desarrollan fácilmente sin apoyo didáctico. Los modelos moleculares físicos, antes ampliamente usados, han perdido protagonismo a pesar de la evidencia actual que respalda su efectividad para mejorar la comprensión. Su reintroducción no solo podría fortalecer el aprendizaje, sino también aumentar la motivación estudiantil y contribuir a una formación más integral. En este contexto, se plantea la pregunta:

¿Cómo influye el uso de los modelos moleculares tridimensionales en el desarrollo de las competencias en la temática de estereoquímica, para estudiantes de Química que acaban de finalizar el curso de Química Orgánica I, en el contexto del Laboratorio I de Química Orgánica de la UIS?

### 1.1. Hipótesis

#### 1.1.1. Hipótesis 1

El uso de modelos moleculares físicos tridimensionales en la enseñanza de la estereoquímica mejora la comprensión de las estructuras moleculares comparada con el método tradicional.

#### 1.1.2. Hipótesis 2

El empleo de estos modelos facilita la identificación de estereoisómeros, estereocentros y configuraciones absolutas, al tiempo que fortalece habilidades como la visión espacial y el razonamiento estructural.

## *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

### **1.1.3. Hipótesis 3**

La incorporación de recursos didácticos físicos contribuye a aumentar la motivación, el interés y la participación activa de los estudiantes.

### **1.2. Justificación**

Este trabajo de grado busca contribuir al mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje en el curso de Química Orgánica I del plan de estudios 11 de la Escuela de Química, mediante la integración de modelos moleculares físicos tridimensionales como recurso didáctico.

Actualmente, en el desarrollo de dicho curso los estudiantes no emplean modelos moleculares físicos como apoyo en la enseñanza de la estereoquímica, lo que limita el fortalecimiento de habilidades cognitivas como la visión espacial, el razonamiento tridimensional y la interpretación estructural. La implementación de esta herramienta, junto con el diseño de una metodología pedagógica innovadora, busca generar entornos de aprendizaje más activos y significativos, en los que el estudiante participe de forma más directa en la construcción de su conocimiento.

Este trabajo pretende fomentar el desarrollo de competencias disciplinares y transversales fundamentales para el ejercicio profesional del químico, tales como la capacidad de análisis, la resolución de problemas, la aplicación de conceptos en contextos prácticos, el trabajo colaborativo y la autonomía en el aprendizaje.

Finalmente, los resultados derivados de este trabajo de grado aportan insumos valiosos para la actualización de las prácticas pedagógicas en los cursos de química orgánica y promover así la incorporación de estrategias innovadoras en otros cursos del programa académico. A largo plazo, esta experiencia contribuiría a la formación de profesionales con una base conceptual sólida,

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

habilidades técnicas más desarrolladas y una mayor capacidad para aportar desde la química a la solución de problemas científicos, tecnológicos y sociales.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar las diferencias en el desarrollo de competencias vinculadas con la estereoquímica cuando se implementa una estrategia didáctica para el aprendizaje que emplea modelos moleculares físicos tridimensionales, en comparación con el método tradicional, en estudiantes del curso de Química Orgánica I.

### **2.2. Objetivos específicos**

- ❖ Diseñar una estrategia didáctica orientada al fortalecimiento de la visión espacial y el aprendizaje de la estereoquímica en estudiantes del curso de Química Orgánica I, incorporando modelos moleculares físicos tridimensionales.
- ❖ Aplicar la estrategia didáctica diseñada en un grupo de estudiantes de la Escuela de Química que cursan Laboratorio I de Química Orgánica.
- ❖ Evaluar las diferencias obtenidas con la aplicación de la estrategia didáctica en el aprendizaje de la estereoquímica, mediante la comparación de resultados obtenidos entre el grupo intervenido y un grupo de control que siga el método tradicional de enseñanza.
- ❖ Analizar la percepción de los estudiantes sobre el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales en su proceso de aprendizaje.

### **3. Marco Teórico**

#### **3.1. Química orgánica**

La química orgánica es la rama de la química que se centra en el estudio de compuestos que contienen carbono. A diferencia de la mayoría de los elementos, los átomos de carbono tienen la capacidad de formar enlaces covalentes fuertes con otros átomos de carbono (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016) y con elementos como hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo y halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo). Esta versatilidad permite a los átomos de carbono organizarse en cadenas lineales o ramificadas de longitud variable, incluso alcanzando miles de átomos. También pueden formar estructuras cíclicas o anilladas, generando una vasta diversidad de moléculas. Los diferentes arreglos de los átomos de carbono dan lugar a variaciones significativas en las propiedades fisicoquímicas y reactividad de los compuestos (Paula Yurkanis Bruice, 2024; Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

La diversidad de los compuestos orgánicos es fundamental para la vida en la Tierra, ya que los organismos vivos están constituidos por complejas biomoléculas, como lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos (Paula Yurkanis Bruice, 2024). Estas macromoléculas son esenciales para los procesos biológicos, ya que los seres vivos obtienen su energía y nutrientes a partir de compuestos orgánicos a través de los alimentos (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

A principios del siglo XVIII, los científicos comenzaron a entender la diferencia entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. En 1807, Jöns Jakob Berzelius clasificó estas dos categorías de materiales (Francis A. Carey & Robert M. Giuliano, 2014; Paula Yurkanis Bruice, 2024). La química orgánica se centraba exclusivamente en los compuestos obtenidos de organismos vivos y sus productos naturales, como azúcares, almidones, ceras y aceites vegetales. Se creía que estos

## *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

productos poseían características intrínsecas que requerían una "fuerza vital" para su formación, lo que dio origen a la teoría vitalista. Según esta teoría, los compuestos orgánicos eran el resultado de esta fuerza, mientras que la química inorgánica se dedicaba al estudio de gases, minerales y otros compuestos que carecían de dicha fuerza vital (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

Sin embargo, un punto de inflexión en la química orgánica ocurrió en 1828, cuando Friedrich Wöhler en la Universidad de Göttingen sintetizó urea a partir de cianato de amonio, un compuesto inorgánico (Francis A. Carey & Robert M. Giuliano, 2014). Este hallazgo desafiaba la creencia de que los compuestos orgánicos solo podían derivarse de organismos vivos. Aunque algunos químicos sugirieron que la reacción de Wöhler podría haber estado contaminada, la mayoría aceptó la posibilidad de sintetizar compuestos orgánicos a partir de inorgánicos. Este avance condujo eventualmente al rechazo de la teoría vitalista y a la consolidación de la química orgánica como una disciplina autónoma, capaz de explicar y predecir la formación de compuestos orgánicos mediante reacciones químicas basadas en principios inorgánicos (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

### **3.2. Estructura atómica y molecular**

#### **3.2.1. Estructura atómica**

Los átomos están formados por protones, neutrones y electrones. Los protones, con carga positiva, y los neutrones, sin carga, se encuentran en el núcleo denso, mientras que los electrones, que tienen carga negativa, se mueven continuamente en el espacio alrededor del núcleo (Paula Yurkanis Bruice, 2024; Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

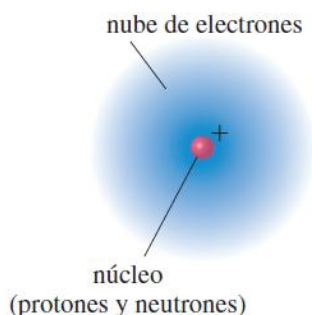
Cada elemento se caracteriza por su número de protones, conocido como número atómico ( $Z$ ). Aunque el número de neutrones suele ser similar al de protones, puede variar, formando isótopos. Las propiedades químicas de un elemento dependen de su número de protones y de los

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

electrones que orbitan a su alrededor, que son responsables de la formación de enlaces y la estructura molecular. En 1924, de Broglie demostró que los electrones presentan características tanto de partículas como de ondas, lo que llevó posteriormente al desarrollo de la mecánica cuántica (Francis A. Carey & Robert M. Giuliano, 2014; Paula Yurkanis Bruice, 2024).

### Figura 1

#### *Estructura atómica básica*



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

Los electrones se organizan en orbitales, y el principio de incertidumbre de Heisenberg establece que no se puede determinar con precisión la posición de un electrón, aunque sí se puede calcular su densidad electrónica, que indica la probabilidad de encontrar un electrón en una región del orbital (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). Los orbitales se agrupan en capas, identificadas por un número cuántico principal ( $n$ ). La capa más cercana al núcleo ( $n = 1$ ) tiene menor energía y puede contener hasta dos electrones; la segunda capa ( $n = 2$ ) puede albergar hasta ocho (Francis A. Carey & Robert M. Giuliano, 2014; John McMurry, 2015; Paula Yurkanis Bruice, 2024; Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

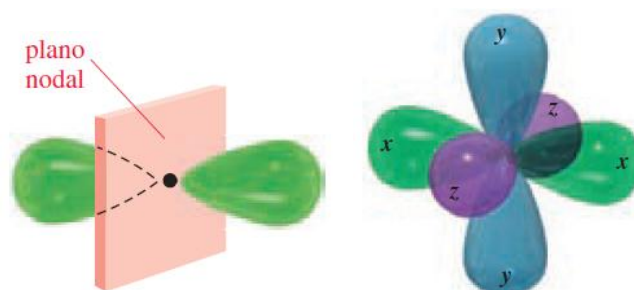
La primera capa incluye solo el orbital  $1s$ , que es esférico y no direccional. La segunda capa contiene el orbital  $2s$ , que también es esférico, y tres orbitales  $2p$  ( $2p_x$ ,  $2p_y$  y  $2p_z$ ), orientados en las tres direcciones espaciales. Los orbitales  $2p$  tienen una energía ligeramente mayor que el  $2s$ , y cada

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

orbital  $p$  tiene dos lóbulos separados por un plano nodal, donde la densidad electrónica es cero. Los tres orbitales  $2p$  son energéticamente equivalentes, por lo que se les denomina orbitales degenerados (Francis A. Carey & Robert M. Giuliano, 2014; Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

### Figura 2

#### Orbitales $2p$



*Nota. Tomado de:* (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)

### 3.2.2. Estructura molecular

Para definir las estructuras moleculares, es esencial comprender los tipos de enlaces presentes en los compuestos químicos, que se dividen principalmente en tres categorías: enlace iónico, metálico y covalente.

El enlace iónico se genera cuando un átomo transfiere uno o más electrones a otro átomo, resultando en la formación de iones positivos y negativos que se atraen entre sí (John McMurry, 2015). El enlace metálico, por otro lado, se establece entre átomos de metales, donde los electrones de valencia se comparten en una nube electrónica, permitiendo la conductividad eléctrica y térmica.

El enlace covalente, introducido por G. N. Lewis en 1916, ocurre cuando dos átomos comparten electrones de su capa de valencia para completar su octeto, logrando así una

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

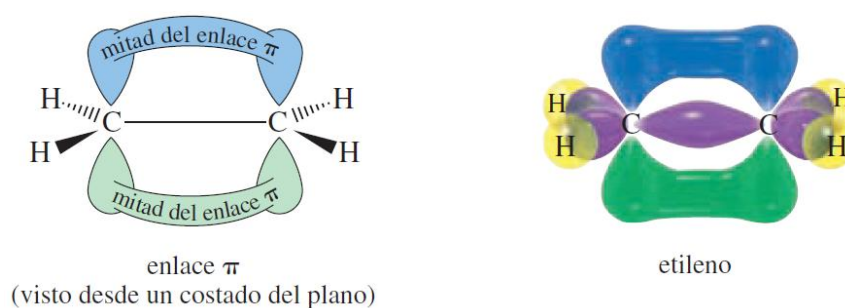
configuración electrónica estable (Francis A. Carey & Robert M. Giuliano, 2014). Este tipo de enlace puede ser sencillo (un par de electrones compartidos), doble (dos pares) o triple (tres pares).

La estabilidad de un enlace covalente proviene de la alta densidad electrónica en la región entre los núcleos atómicos, donde los electrones de enlace reducen la energía total al acercarse a ambos núcleos y minimizar la repulsión (John McMurry, 2015). Un ejemplo sencillo de enlace covalente es la molécula de dihidrógeno, en la que dos átomos de hidrógeno combinan sus funciones de onda  $1s$  constructivamente, generando un orbital molecular de enlace (OM de enlace) que incrementa la densidad electrónica entre los núcleos (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). Este enlace es llamado enlace *sigma* ( $\sigma$ ) y es el más común en compuestos orgánicos.

Un enlace *pi* ( $\pi$ ) se forma mediante el traslape lateral de orbitales  $p$ , concentrando la densidad electrónica sobre y debajo de la línea que conecta los núcleos, lo que no es cilíndricamente simétrico (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). Un enlace doble incluye tanto un enlace *sigma* como un enlace *pi*.

### Figura 3

*Geometría plana del etileno.*



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

Los ángulos de enlace en moléculas orgánicas suelen ser mayores de lo que se esperaría al considerar solo los orbitales  $s$  y  $p$ . Esto se explica por la teoría de repulsión de pares de electrones

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

de la capa de valencia (RPECV), que indica que los pares de electrones se repelen y se organizan para maximizar la distancia entre ellos (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

**3.2.2.1. Hibridación de orbitales.** Para comprender las configuraciones geométricas de las moléculas, se recurre al concepto de hibridación de orbitales, desarrollado y formalizado por Linus Pauling. Propuso que los orbitales atómicos de un mismo átomo pueden combinarse matemáticamente para formar orbitales híbridos ( $sp$ ,  $sp^2$  y  $sp^3$ ), los cuales presentan orientaciones específicas en el espacio que permiten explicar de forma más precisa la geometría molecular observada.

Este enfoque, expuesto de manera detallada en su obra *The Nature of the Chemical Bond* (1931), revolucionó la comprensión de los enlaces químicos al demostrar cómo la estructura tridimensional de una molécula podía derivarse directamente de la disposición de los orbitales híbridos. Dichos orbitales son el resultado de combinaciones lineales (suma o resta) de los orbitales atómicos  $s$  y  $p$ , y se orientan de manera que minimizan la repulsión entre pares electrónicos, optimizando así la estabilidad de la molécula y concentrando la densidad electrónica en las regiones de enlace (Pauling, 1931).

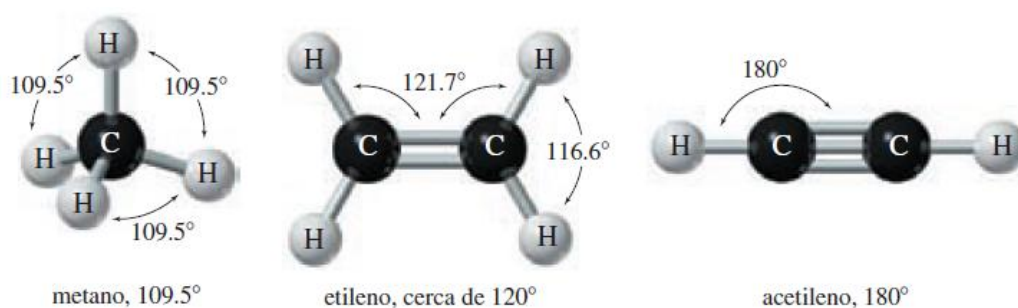
En la hibridación  $sp$ , un orbital  $s$  y un orbital  $p$  del mismo átomo se combinan para generar dos orbitales híbridos  $sp$ , orientados en direcciones opuestas con un ángulo de  $180^\circ$ , lo que da lugar a una geometría lineal. En la hibridación  $sp^2$ , un orbital  $s$  y dos orbitales  $p$  se combinan para formar tres orbitales híbridos equivalentes, que se disponen en un mismo plano con ángulos de  $120^\circ$  entre sí, configurando una geometría trigonal plana; el orbital  $p$  restante, que no participa en la hibridación, queda perpendicular al plano formado por los híbridos y puede participar en enlaces  $\pi$ . En la hibridación  $sp^3$ , un orbital  $s$  y los tres orbitales  $p$  se combinan para formar cuatro orbitales híbridos equivalentes, dispuestos en un arreglo tetraédrico con ángulos de enlace de

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

aproximadamente  $109.5^\circ$ , que permite una distribución tridimensional simétrica (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

### Figura 4

Ángulos de enlace comunes para la hibridación  $sp^3$ ,  $sp^2$  y  $sp$



Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)

**3.2.2.2. Isomería.** Además de la geometría molecular y la hibridación, otro aspecto fundamental para comprender la estructura y propiedades de las moléculas es la isomería, ya que moléculas con la misma fórmula molecular pueden diferir en cómo se organizan sus átomos. Los isómeros son compuestos distintos que comparten la misma fórmula molecular, pero difieren en la disposición de sus átomos. Se clasifican en dos grandes grupos: isómeros constitucionales y estereoisómeros.

Los isómeros constitucionales, también llamados isómeros estructurales, se diferencian en el orden en que los átomos están enlazados entre sí, es decir, presentan distintas conexiones dentro de la molécula. Por su parte, los estereoisómeros presentan los mismos enlaces entre átomos, pero difieren en la orientación espacial de estos. Se dividen en dos subtipos: los enantiómeros, que son imágenes especulares no superponibles, y los diastereómeros, que también difieren en la

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

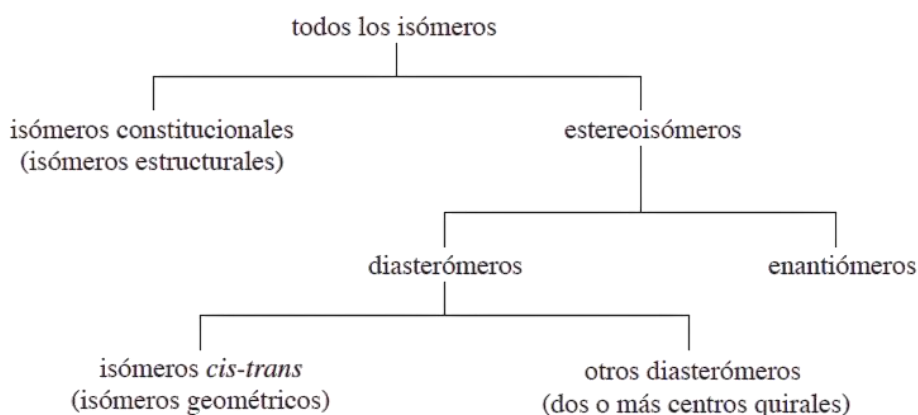
disposición espacial pero no son imágenes especulares entre sí (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). La clasificación y características de los estereoisómeros se abordarán con mayor detalle más adelante en el documento (véase en la página 43).

Un caso particular de diastereómeros son los isómeros *cis-trans* (también llamados isómeros geométricos), que se presentan en moléculas con dobles enlaces o en moléculas cíclicas, y se distinguen por la posición relativa (*cis* o *trans*) de sustituyentes en torno a un plano rígido.

Esta clasificación es fundamental para comprender cómo la estructura tridimensional de las moléculas afecta sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

### Figura 5

*Tipos de isómeros*



*Nota. Tomado de:* (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)

**3.2.2.3. Modelos moleculares bidimensionales.** Para comprender cómo se descubrieron las estructuras moleculares, es necesario revisar la historia de los modelos moleculares bidimensionales y sus antecedentes filosóficos y científicos. Sus orígenes se remontan a las reflexiones de filósofos como Leucipo de Mileto (450 a.C.), quien sostuvo que todo el universo está compuesto por átomos y vacío, al afirmar que “...cualquier trozo de materia, por muy pequeño que sea, siempre puede dividirse en otros trozos aún más pequeños...” (Asimov et al., 1975),

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

fundando así la teoría atomista o atomismo. Por su parte, Demócrito de Abdera (400 a.C.) postuló que la materia está compuesta por partículas indivisibles (Berryman, 2023) y distinguió diferentes tipos de átomos según su forma, tamaño y disposición. Posteriormente, alrededor del año 100 a.C., el poeta Tito Lucrecio Caro aportó una noción temprana al sugerir que los olores se transmiten a través de partículas con formas que encajan en cavidades de la nariz (Lucrecio & Pégolo, 2020). Así, el atomismo filosófico fue desarrollándose durante siglos y en distintas culturas.

En el siglo XVII, René Descartes describió la unión de los átomos mediante metáforas como “ganchos” y “aros”, para explicar sus interacciones (Waller, 2004). Poco después, Robert Boyle (1661) afirmó que la materia consiste en cúmulos de partículas, introduciendo el concepto de “átomos combinados” (Boyle & Moelwyn-Hughes, 1964). Estas ideas fueron ampliadas por Étienne François Geoffroy (1718), quien formuló la teoría de la afinidad química para explicar las combinaciones de partículas (Joly, 2014). A finales del siglo XVIII, William Higgins (1789) presentó su noción de “partículas últimas” (Higgins, 1789, 1814) y sus combinaciones, anticipando el concepto de enlaces de valencia.

En el siglo XIX, el desarrollo de la química moderna impulsó una comprensión más precisa de los átomos y las moléculas. En 1800, John Dalton conceptualizó los átomos como partículas reales con diferentes tamaños y pesos, lo que sentó las bases para la teoría atómica (Viana & Porto, 2010). En 1811, Amedeo Avogadro diferenciaba entre átomos y moléculas, lo que permitió a los científicos comprender mejor cómo se combinan estas entidades (Morselli, 1980). Más adelante, el químico francés Marc Antoine Auguste Gaudin (1833) empleó “diagramas de volumen” para representar las diversas geometrías de moléculas en fase gaseosa, como la estructura “lineal” del agua, con el propósito de respaldar la hipótesis de Avogadro sobre las masas atómicas (Mauskopf,



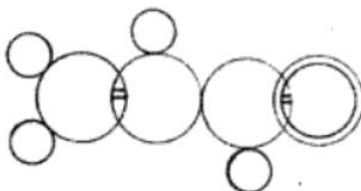
## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

*Nota. Tomado de:* (Michel Eugène Chevreul, 1858)

Posteriormente en 1861, el químico Johann Josef Loschmidt imaginó la forma real de las moléculas orgánicas y desarrolló fórmulas químicas estructurales adicionando los enlaces dobles y triples del carbono (Bader & Parker, 2001), superando las representaciones de otros contemporáneos, como August Kekulé (1865); sin embargo, este último propuso la estructura del benceno representada mediante un anillo con enlaces alternados (Hein, 1966).

### Figura 8

*Estructura de la acroleína en la notación de Loschmidt.*



*Nota. Tomado de:* (Loschmidt, 1861). En la notación propuesta por Loschmidt, los átomos de carbono se representaban mediante círculos grandes de línea simple, los átomos de hidrógeno mediante círculos pequeños de línea simple y los átomos de oxígeno mediante círculos grandes de doble línea. Los enlaces sencillos se indicaban por el contacto entre dos círculos en un único punto, mientras que los enlaces dobles se representaban mediante una ligera superposición de los círculos, acompañada de la notación correspondiente al doble enlace.

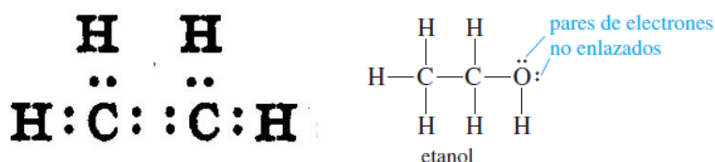
Couper no fue el único en proponer representaciones de las estructuras moleculares. En 1915, Gilbert N. Lewis introdujo las estructuras de puntos y líneas, en las que los electrones de valencia se representan mediante puntos alrededor de los átomos, y los enlaces entre dos átomos se indican mediante líneas (Lewis, 1916). Este método fue fundamental para comprender la

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

naturaleza de los enlaces covalentes, al proporcionar un modelo visual que refleja cómo los electrones de valencia participan en la formación de enlaces.

### Figura 9

Estructuras de Lewis (a la izquierda, de 1916, y a la derecha, de libro de texto actual), para etileno y etanol, respectivamente



*Nota. Tomado de:* (Lewis, 1916; Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)

A partir de la propuesta de Lewis, las estructuras de puntos y líneas se consolidaron como una de las representaciones bidimensionales más utilizadas y vigentes en la enseñanza de la química orgánica. Si bien este tipo de representación no permite apreciar con precisión la geometría tridimensional de las moléculas ni los ángulos de enlace reales, constituye un primer acercamiento fundamental para la comprensión de la estructura molecular básica y de la conectividad entre los átomos.

### 3.3. Modelos tridimensionales

Los modelos tridimensionales (3D) han transformado numerosos sectores, proporcionando representaciones más precisas y comprensibles de estructuras complejas. Su evolución y aplicación abarcan disciplinas tan variadas como la medicina, la educación, el arte y la ingeniería.

El desarrollo de la representación tridimensional se remonta al siglo XVII; René Descartes desempeñó un papel fundamental al introducir en su obra "*La Géométrie*" (1637) el sistema de

## *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

coordenadas cartesianas. Este sistema permite la representación de puntos en el espacio mediante tres dimensiones ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), estableciendo un vínculo entre álgebra y geometría, y facilitando la representación matemática de figuras y sólidos en tres dimensiones (Toledano, 2017). Sin embargo, el uso práctico de estos modelos como herramientas de visualización se consolidó en el siglo XIX, especialmente en el ámbito de la química. Los modelos moleculares, popularizados por científicos como August Wilhelm von Hofmann (von Hofmann, 1866) y Linus Carl Pauling (Pauling, 1931), proporcionaron a estudiantes e investigadores la capacidad de visualizar compuestos químicos de manera más efectiva.

El avance de la computación gráfica en las décadas de 1980 y 1990 permitió que el modelado 3D se extendiera a otras áreas, impulsado por el desarrollo de softwares especializados que facilitó la creación y manipulación de representaciones tridimensionales (Foley, 1996).

En el ámbito médico, las imágenes en 3D generadas por resonancia magnética (RM) y tomografía computarizada (TC), que emergieron en la década de 1970, han mejorado significativamente los diagnósticos y la planificación quirúrgica. Estas herramientas también han demostrado ser útiles en las escuelas de posgrado de medicina, facilitando la enseñanza de anatomía y brindando asesoramiento a los pacientes (Arango et al., 2020; Heinze et al., 2020).

En arquitectura, la materialización y conceptualización de proyectos requieren herramientas fundamentales, como maquetas y prototipos. Las representaciones, tanto físicas como digitales, son esenciales para el desarrollo del pensamiento gráfico entre los estudiantes de esta disciplina (Ocampo, 2017; Ramírez & Lozano, 2018).

En el ámbito científico, herramientas como PyMOL, utilizadas desde los años 90, se han vuelto imprescindibles para la visualización de estructuras moleculares (Cortés Caballero et al., 2020). En la industria automotriz, el modelado 3D simplifica el diseño de vehículos, mientras que,

## *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

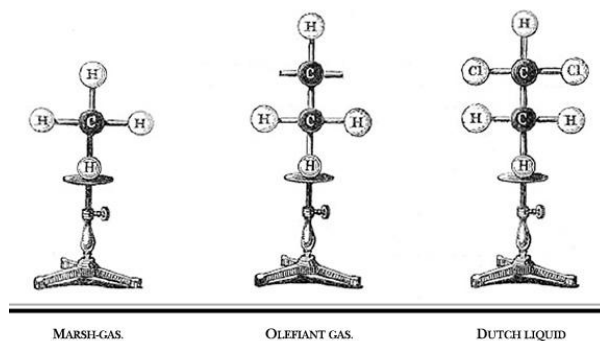
en el sector de la moda, ha demostrado ser eficaz para optimizar el proceso de desarrollo de productos (Souza, 2006). Estos modelos no solo mejoran la eficiencia de los procesos, sino que también democratizan el acceso al conocimiento, favoreciendo la comprensión en diversas áreas.

### **3.4. Modelos moleculares tridimensionales**

La historia de los modelos moleculares se remonta a los inicios de la química moderna, cuando los científicos comenzaron a buscar formas de representar la estructura y las interacciones de las moléculas. Desde el siglo XIX, con el desarrollo de teorías atómicas y moleculares, se hicieron esfuerzos por crear representaciones visuales que facilitaran la comprensión de las complejas relaciones entre átomos. A medida que la química avanzó, surgieron diversos tipos de modelos, cada uno diseñado para ilustrar diferentes aspectos de la estructura molecular. Entre estos, destacan los modelos de varillas y esferas, así como los modelos de espacio lleno, que permiten a los investigadores y estudiantes visualizar de manera efectiva las características tridimensionales de las moléculas y su comportamiento en reacciones químicas.

#### **3.4.1. Modelos de esferas y varillas**

En 1865 el químico alemán August Wilhelm von Hofmann comenzó a usar modelos tridimensionales; en estos modelos las esferas representan a los átomos y las varillas a los enlaces covalentes, permitiendo observar la orientación espacial entre los átomos. En dicho modelo Hofmann utilizó esferas negras para el carbono, rojo para el oxígeno, blanco para el hidrógeno, azul para el nitrógeno y verde para el cloro (von Hofmann, 1866). Los colores de las esferas fueron a la disponibilidad de colores de las bolas de croquet; sin embargo, la convención de estos colores se popularizó rápidamente. Este modelo tuvo unas fallas en la geometría ya que los enlazamientos del carbono eran todos planos y el tamaño de los átomos no se encontraban en proporción.

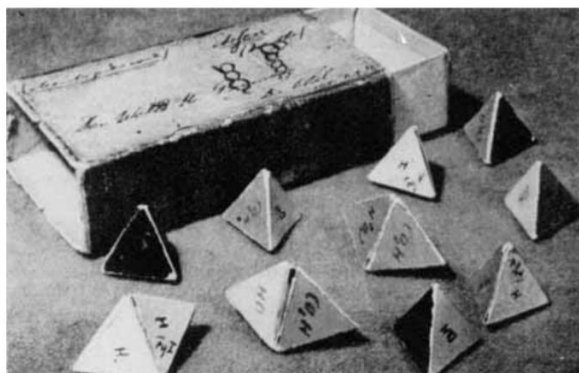
**Figura 10***Representación de los modelos de Hofmann**Nota. Tomado de: (Perkins, 2005).*

Kekulé también desarrolló modelos tridimensionales de “esferas y barras”, basándose en círculos y líneas, y los utilizó para resolver la estructura del benceno que había propuesto bidimensionalmente, mostrando cómo los átomos de carbono podían formar anillos (1866) (Hafner, 1979); aunque estos modelos fueron influyentes, tenían limitaciones.

En 1874, de manera independiente, Joseph Achille Le Bel y Jacobus Henricus van't Hoff propusieron que los enlaces del átomo de carbono se disponen en una estructura tridimensional de forma tetraédrica, marcando un hito en la evolución de la química orgánica al introducir una nueva perspectiva sobre la isomería espacial (van der Spek, 2006; Wiberg, 1986). En particular, van't Hoff fue pionero en el uso de modelos tridimensionales para representar la geometría molecular de compuestos orgánicos, especialmente aquellos que contienen carbonos quirales. Su propuesta establecía que el carbono tetravalente orienta sus cuatro enlaces hacia los vértices de un tetraedro regular, permitiendo explicar cómo una misma fórmula molecular puede originar diferentes configuraciones espaciales.

**Figura 11**

*Primeros modelos de van 't Hoff (1875)*

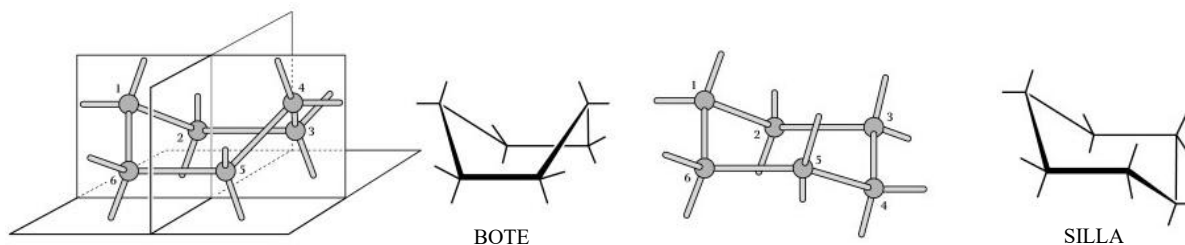


*Nota. Tomado de: (Lichtenthaler, 1992)*

En 1885, Adolf von Baeyer utilizó los modelos de Kekulé para formular su teoría de la tensión de enlace, concluyendo que los anillos carbonados de tres y cuatro miembros eran menos estables debido a la desviación de sus ángulos de enlace respecto al ángulo tetraédrico ideal. No obstante, la aplicación de su teoría a anillos más grandes resultó en conclusiones incorrectas, ya que en ese entonces no se sabía que estos ciclos no eran planos (Wiberg, 1986). Hoy en día, sabemos que el ciclohexano adopta conformaciones sin tensión, como las estructuras "bote" y "silla" (Sachse, 1890).

**Figura 12**

*Conformaciones de bote y de silla del ciclohexano*



*Nota. Tomado de: (Hafner, 1979)*

### **3.4.2. Modelos de espacio lleno.**

A finales del siglo XIX, la estructura tetraédrica del carbono estaba bien establecida, aunque aún no se comprendía completamente por qué el carbono formaba cuatro enlaces en dicha conformación. El descubrimiento del electrón permitió avanzar en esta explicación, especialmente a través de la Teoría de la Repulsión de Pares de Electrones en la Capa de Valencia, la cual propone que los electrones en la capa externa se repelen entre sí y se organizan de manera que minimicen dichas repulsiones, determinando así la geometría molecular (Gillespie, 1970). No obstante, aunque esta teoría permitió predecir las formas moleculares, no explicaba en profundidad el origen del enlace químico.

En 1931, Linus Pauling abordó esta limitación al introducir el concepto de hibridación de orbitales atómicos, explicando desde la mecánica cuántica cómo los orbitales del carbono pueden reorganizarse para formar cuatro enlaces equivalentes con orientación tetraédrica (Pauling, 1931). Asimismo, el concepto de radio de van der Waals (Van der Waals, 1873) permitió comprender el tamaño aproximado de los átomos y su distribución espacial dentro de las moléculas.

Con base en estos fundamentos, Pauling y Corey desarrollaron en 1953 modelos moleculares en los que los átomos se representaban como esferas proporcionales a su radio de van der Waals (Corey & Pauling, 1953; Pauling et al., 1951). Posteriormente, Koltun perfeccionó y patentó estos modelos en 1965 (Koltun, 1965), dando origen a los modelos Corey-Pauling-Koltun (CPK), ampliamente utilizados por su capacidad para mostrar la forma tridimensional general de las moléculas mediante representaciones visualmente impactantes.

**Figura 13***Anuncio de los modelos CPK en 1965*

NOW AVAILABLE FOR THE FIRST TIME—THE LONG AWAITED, INEXPENSIVE

**NEW  
COREY-PAULING  
SPACE  
FILLING  
ATOMIC  
MODELS  
WITH  
KOLTUN  
CONNECTORS**



Note the strength of the individual linkages. Locking connectors are used to assure the planarity of the amide group.

These new CPK Models were designed by the Atomic Models Subcommittee of the Biophysics and Biophysical Chemistry Study Section of the National Institutes of Health, Washington, D.C. Over 40 scientists from more than two dozen research centers contributed to the work of this Committee.

The CPK designs which emerged have been implemented by the American Society of Biological Chemists with financial support from the United States National Science Foundation.

A definitive history and technical analysis of the CPK Models has appeared: W. L. Koltun, *Biopolymers*, 3, (1965), pp. 665-79. Reprints are available upon request.

These new CPK Models are offered by Ealing for immediate delivery from stock.

- individually
- as Research and Teaching Sets, Protein Sets, Nucleic Acid Sets and Steroid Sets each in heavy wooden storage boxes
- as 18 convenient pre-assembled structures

Get your free copy today of this new 32 page catalog. Telephone, wire, telex, cable, or write to:

**E** THE EALING CORPORATION  
2125 MATTHEWSETTS AVE., CAMBRIDGE, MASS. 02142 • TEL. (617) 451-0155 CABLE: EALING TELTELEX: 941019

426 SCIENCE, VOL. 152

*Nota. Tomado de: (NEW COREY-PAULING SPACE FILLING ATOMIC MODELS WITH KOLTUN CONNECTORS, 1966)*

**3.4.3. Modelos de varillas y actualidad.**

Gracias a las contribuciones de Corey y Pauling en el desarrollo de modelos moleculares tridimensionales, se introdujo un enfoque más simplificado para la visualización de biomoléculas y moléculas orgánicas, conocido como el modelo de varillas o esquelético. Este tipo de modelo molecular es una variante simplificada de los modelos de esferas y varillas, en los que se eliminan las esferas que representan los átomos, permitiendo así una visualización más clara de los ángulos y longitudes de enlace entre los átomos.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

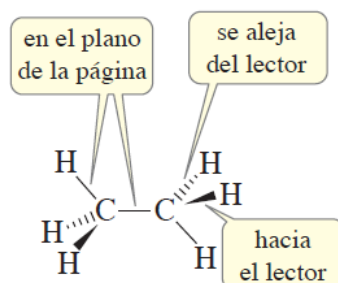
Desde 1965, los modelos moleculares han evolucionado notablemente con la integración de tecnologías avanzadas. Hoy en día, el software apropiado y los simuladores virtuales permiten visualizar moléculas en formatos como líneas, esferas y varillas, espacio lleno (CPK) y esquelético. Además, el modelado computacional predice propiedades químicas, comportamiento molecular y optimiza estructuras, revolucionando la enseñanza y la investigación en química y biología molecular.

### 3.4.4. Representaciones y proyecciones

En química orgánica, con el objetivo de facilitar su comprensión y unificar el lenguaje científico, se ha adoptado una notación simplificada para representar en libros académicos y revistas científicas los modelos moleculares tridimensionales. La representación que mejor ilustra la geometría precisa de las moléculas es la de cuñas: las líneas punteadas indican enlaces que se alejan del observador, las cuñas sólidas representan enlaces que se acercan, y las líneas rectas corresponden a enlaces situados en el plano de la página (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

#### Figura 14

*Representación de cuñas de la molécula de etano*



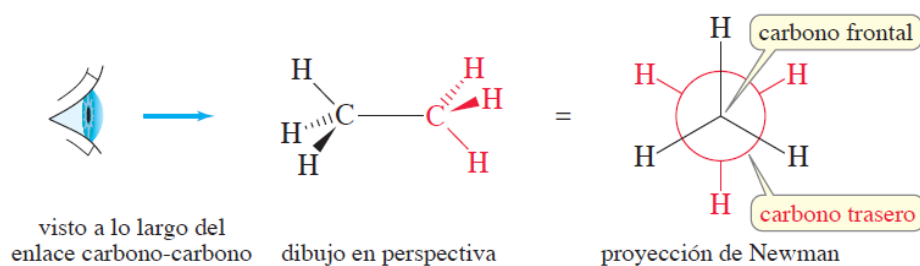
*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Las proyecciones de Newman ilustran a las moléculas desde un ángulo particular, basadas en las representaciones de cuñas, mostrando cómo se disponen los átomos alrededor de un enlace sencillo. En esta representación, en lugar de observar directamente el enlace entre dos átomos de carbono, el carbono frontal se dibuja con tres líneas que forman un ángulo de  $120^\circ$ . El carbono trasero se indica detrás del círculo del que emergen tres enlaces (los enlaces comienzan en el borde del círculo) (Francis A. Carey & Robert M. Giuliano, 2014).

### Figura 15

*Proyección de Newman de la molécula de etano*



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

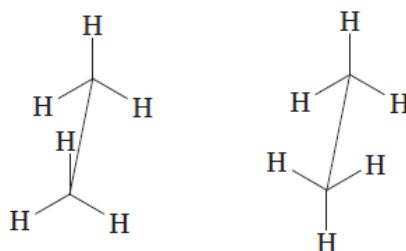
Las proyecciones en caballete muestran la molécula desde una perspectiva oblicua o superior, enfocándose principalmente en el enlace entre dos átomos de carbono adyacentes y permitiendo visualizar la orientación relativa de los sustituyentes en torno a dicho enlace (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). Aunque este tipo de representación facilita la comparación entre conformaciones, puede generar confusión en los estudiantes debido a que no corresponde a una vista tridimensional real, sino a una convención gráfica. La disposición espacial de los átomos no siempre resulta intuitiva, ya que la apariencia de la estructura depende del ángulo desde el cual se interprete el dibujo, lo que exige del estudiante un proceso activo de rotación mental y reconstrucción espacial. En consecuencia, quienes aún no han desarrollado plenamente la habilidad

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

visoespacial pueden experimentar dificultades para relacionar esta proyección con la estructura tridimensional real de la molécula.

### Figura 16

*Proyección en caballete de la molécula de etano, eclipsada y alternada*

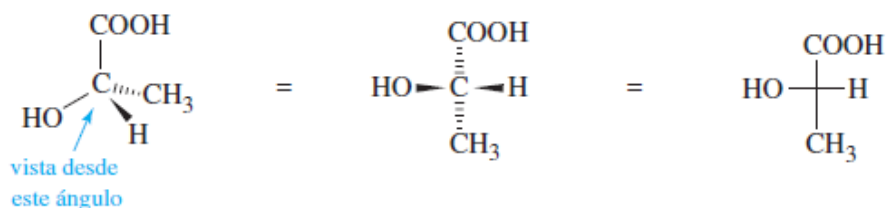


*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

Finalmente, las proyecciones de Fischer son una forma de representar moléculas, empleadas especialmente para azúcares y biomoléculas, creadas por Emil Fischer a finales del siglo XIX implementando dibujos derivados de los modelos de moleculares de van't Hoff (Bentley, 1997). En este tipo de proyección, la cadena principal de carbono se dibuja verticalmente, con los grupos funcionales y sustituyentes dispuestos a la izquierda y derecha. Los enlaces que se dirigen hacia el espectador se representan como líneas horizontales, mientras que los que van hacia atrás se muestran como líneas verticales.

### Figura 17

*Proyección de Fischer del ácido (S)-láctico*



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

### **3.5. Estereoquímica**

La estereoquímica, rama de la química que estudia la disposición tridimensional de los átomos en las moléculas, constituye un pilar esencial en la comprensión de los procesos químicos y biológicos (Eliel et al., 1994). Esta organización espacial no solo determina las propiedades físicas y químicas de los compuestos, sino que también es clave para entender la especificidad molecular en los sistemas biológicos. Las biomoléculas fundamentales para la vida como las proteínas, los ácidos nucleicos, los carbohidratos y los lípidos presentan estructuras con estereoquímica definida, cuya configuración influye directamente en su función. Así, la estereoquímica no puede considerarse un aspecto secundario, sino un componente estructural del conocimiento químico moderno.

Un ejemplo histórico que evidencia la importancia de este campo es el caso de la talidomida, un fármaco administrado en la década de 1960 para aliviar las náuseas durante el embarazo. La molécula de talidomida existe como dos enantiómeros: uno con efecto sedante y otro con efectos teratogénicos graves (Clark et al., 2020). Debido a la falta de control sobre la pureza enantiomérica en su momento, miles de niños nacieron con malformaciones congénitas. Este hecho trágico puso de manifiesto que pequeñas variaciones en la orientación espacial de una molécula pueden significar la diferencia entre un medicamento terapéutico y un agente altamente nocivo.

Por tanto, comprender la estereoquímica resulta indispensable no solo para quienes se forman en química, sino también para profesionales de áreas como la farmacología, la bioquímica, la biotecnología y la medicina, donde la actividad molecular específica puede tener implicaciones clínicas y terapéuticas significativas.

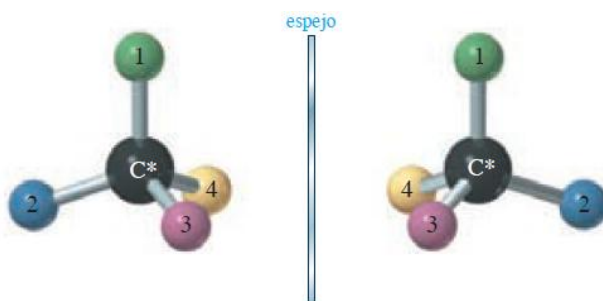
La estereoquímica se ocupa de la disposición espacial de los átomos en las moléculas y cómo esta disposición afecta su reactividad, propiedades fisicoquímicas y actividades biológicas,

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

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 (\*) (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). Este centro asimétrico es típicamente un átomo 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 (John McMurry, 2015; Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016), y su estudio es crucial para entender cómo pequeñas diferencias en la estructura pueden influir en la actividad biológica y química.

### Figura 18

*Enantiómeros de un carbono asimétrico*



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

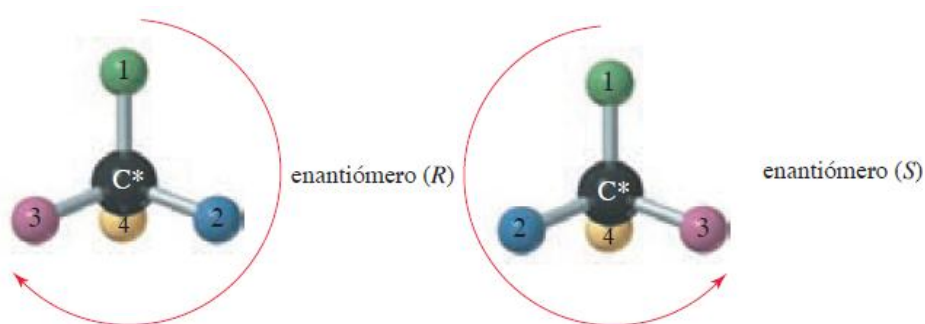
La convención de Cahn-Ingold-Prelog (CIP) es el conjunto de reglas más reconocido para designar las configuraciones de los centros quirales en las moléculas (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). A cada átomo de carbono que presenta quiralidad se le asigna una letra, (*R*) o (*S*) en función de 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

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

la disposición de los sustituyentes de mayor prioridad en relación con el 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*) (John McMurry, 2015; Paula Yurkanis Bruice, 2024; Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

### Figura 19

*Configuraciones R y S de enantiómeros*



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

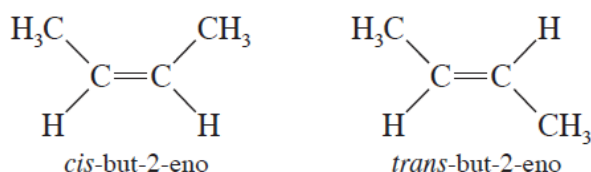
Las propiedades físicas de los enantiómeros son idénticas o prácticamente indistinguibles en ambientes no quirales, ya que comparten la misma fórmula molecular, estructura y energía. Sin embargo, sus diferencias se manifiestan cuando interactúan con otras moléculas quirales, como ocurre en sistemas biológicos, 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) (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). 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.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

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 diastereómeros. La mayoría de los diastereómeros 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 diastereómeros.

### Figura 20

*Isómeros cis/trans de la molécula but-2-eno*



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

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 indicado en la **Figura 21** contiene dos carbonos asimétricos y existe en dos formas diastereoméricas. Estas dos estructuras no son idénticas; son estereoisómeros del tipo diastereoisómeros debido a la diferencia en la disposición espacial de sus átomos, y por lo tanto no son enantiómeros. La **Figura 21** muestra 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 21**

*Diastereómeros de moléculas con dos centros quirales.*



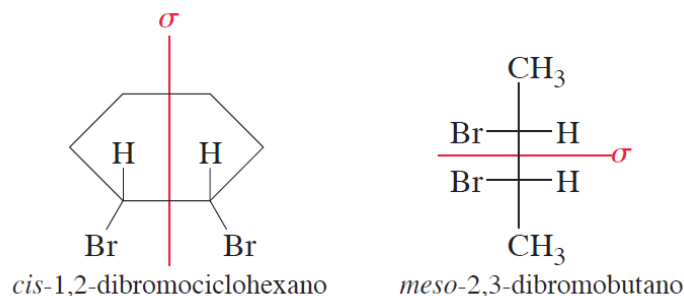
*Nota. Modificado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

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 (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016). 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.

Otro tipo particular de diastereómeros son los compuestos *meso*, los cuales, a pesar de contener átomos asimétricos, son aquirales debido a la presencia de un plano interno de simetría. Esta simetría interna hace que ambas mitades de la molécula sean imagen especular una de la otra, con configuraciones opuestas en los centros quirales y como resultado, el compuesto no presenta actividad óptica. Este tipo de moléculas puede identificarse fácilmente al observar la existencia de un plano especular interno ( $\sigma$ ), el cual indica que la molécula es superponible con su propia imagen especular y, por tanto, aquiral (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016).

**Figura 22**

Ejemplos de compuestos meso y su plano especular interno.



*Nota. Tomado de: (Wade Jr. Leroy & Simek Jan William, 2016)*

Tradicionalmente, los conceptos de quiralidad y otros elementos de la estereoquímica se han enseñado mediante métodos visuales limitados, como las proyecciones de Fischer y representaciones bidimensionales. Estos enfoques, al no reflejar adecuadamente la disposición espacial de los átomos, dificultan la comprensión de las interacciones moleculares y las relaciones entre estereoisómeros. La dependencia de modelos 2D restringe la capacidad de los estudiantes para entender de forma clara y precisa la geometría molecular y asignar correctamente configuraciones, lo que limita el aprendizaje integral de la estereoquímica.

### 3.6. Habilidades visoespaciales y su conexión con la estereoquímica

Los seres humanos inician el desarrollo de habilidades visoespaciales desde la infancia a través de la exploración y el juego. Estas habilidades les permiten reconocer formas, orientarse en el espacio, entender patrones, visualizar objetos en tres dimensiones y manipular imágenes mentalmente. Son esenciales no solo en áreas como la cirugía, la arquitectura y el diseño industrial, sino también en campos como la matemática, la física y la química. Por ejemplo, en química, la capacidad de interpretar representaciones tridimensionales de moléculas es crucial para

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

comprender su estructura y reactividad. Estas habilidades visoespaciales también están vinculadas a la resolución de problemas y al pensamiento crítico, permitiendo a los individuos abordar desafíos complejos de manera más efectiva. Además, la práctica continua de estas habilidades desde la infancia puede mejorar la cognición y facilitar el aprendizaje en diversas disciplinas a lo largo de la vida.

Wu y Shah reportaron en 2004 que las habilidades visoespaciales son cruciales para el aprendizaje de la química, ya que muchos errores conceptuales de los estudiantes surgen de las dificultades para manejar las representaciones moleculares. Además, proponen cinco principios para el diseño de herramientas de visualización en química: 1) ofrecer múltiples representaciones y descripciones, 2) hacer visibles las conexiones referenciales, 3) mostrar la naturaleza dinámica e interactiva de la química, 4) fomentar la transformación entre 2D y 3D, y 5) reducir la carga cognitiva al hacer explícita la información e integrarla para los estudiantes (Wu & Shah, 2004).

Habraken finaliza su artículo de 2004 describiendo la evolución de las representaciones moleculares en los últimos 125 años y concluye con un mensaje para los educadores en su artículo sobre las habilidades visoespaciales de los estudiantes en la enseñanza de la química: "... lo que importa hoy en día es el grado en que tanto los químicos como nuestros jóvenes están plenamente familiarizados con la comunicación, la argumentación y el pensamiento visoespacial" (Habraken, 2004).

Debido a la gran dependencia de las representaciones gráficas, el razonamiento en química orgánica suele ser más "lógico-visoespacial" que "lógico-matemático". No obstante, enseñar esta habilidad visoespacial a los estudiantes puede resultar difícil, ya que muchos no tienen una base sólida en visualización tridimensional (Kozma & Russell, 1997). Esta dificultad es evidente especialmente en los cursos de química orgánica, donde se requiere que los estudiantes realicen un

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

análisis tridimensional de moléculas dibujadas en dos dimensiones. Al intentar hacer la conversión entre estas representaciones, los estudiantes a menudo siguen un proceso paso a paso hasta completar la transformación. Sin embargo, muchos no logran visualizar adecuadamente las formas moleculares, lo que puede llevar a errores en uno o más pasos del procedimiento (Kozma & Russell, 1997; Wu & Shah, 2004).

Diversas investigaciones han evidenciado que la implementación de estrategias didácticas basadas en el uso de modelos moleculares en la enseñanza de la química orgánica favorece significativamente el aprendizaje. Estas herramientas no solo contribuyen al fortalecimiento del conocimiento conceptual, sino que también incrementan la motivación y la participación activa del estudiantado (Aroca Guzmán, 2021; Seoane et al., 2004). Asimismo, permiten optimizar los procesos de enseñanza al reducir las dificultades asociadas a la comprensión de conceptos abstractos, facilitando así una explicación más clara y efectiva por parte del docente (Camargo Ayala, 2014; Fernández Palacios, 2014; Santoyo Cortes, 2012). Por su parte, Alsfook que el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales permitió a los estudiantes entender mejor los conceptos de estereoquímica en comparación con las evaluaciones tradicionales que emplean representaciones bidimensionales (Alsfook, 2022). En la misma línea, Bermúdez señaló avances favorables en el desarrollo de las habilidades visoespaciales de los estudiantes, particularmente en lo relacionado con la percepción de relaciones y orientaciones en el espacio, además de una comprensión más sólida de los fundamentos de la estereoquímica (Bermúdez Rojas, 2023).

### **3.7. Modelo pedagógico de la UIS**

Los modelos pedagógicos son representaciones clave en la educación, entendida como un fenómeno social. Reflejan la concepción del docente, que se manifiesta en elementos del aula y en sus prácticas. Estos modelos interrelacionan parámetros pedagógicos basados en una visión

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

particular del ser humano y la sociedad, y requieren un análisis riguroso. Los modelos responden a cinco preguntas esenciales: el ideal de persona educada, las estrategias metodológicas, los contenidos educativos, los ritmos del proceso formativo y quién dirige la enseñanza. Aunque estos aspectos son constantes, cada enfoque pedagógico presenta variaciones (Blanco & Quitoria, 2000).

A través del Acuerdo N° 233 de 2021, el consejo académico de la Universidad Industrial de Santander (UIS) aprobó la actualización del Modelo Pedagógico UIS, que favorece la formación integral de sus estudiantes, adaptándose a las necesidades actuales y a los retos sociales contemporáneos. El modelo pedagógico UIS21 plantea cinco características clave: (i) centrado en el aprendizaje y el sujeto que aprende; (ii) orientado a la formación para la innovación; (iii) asistido por el uso de tecnologías de la información y la comunicación; (iv) materializado en la impronta de rasgos comunes de los egresados y (v) desplegado en los ámbitos macro, meso y micro curricular. Este modelo se fundamenta en una perspectiva progresivista que enfatiza la atención a los intereses y necesidades de los alumnos, creando entornos de aprendizaje que estimulan el pensamiento crítico, la creatividad y el desarrollo intelectual. Al incorporar principios del reconstruccionismo social, la UIS capacita a sus estudiantes como agentes activos de cambio, motivándolos a asumir la responsabilidad de enfrentar los desafíos de la sociedad. Así, el enfoque pedagógico de la UIS no solo se centra en la adquisición de conocimientos, sino también en la formación de ciudadanos comprometidos con la justicia social, la inclusión y el desarrollo sostenible, preparando a los graduados para hacer contribuciones significativas a un futuro multicultural y global (Acuerdo del Consejo Académico. No. 233 del 10 de agosto de 2021).

El modelo pedagógico UIS21 aborda los procesos de aprendizaje y enseñanza reconociendo que existen diversos caminos hacia el conocimiento, los cuales dependen del desarrollo del pensamiento. Este modelo parte del entendimiento de que todos los estudiantes han tenido

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

condiciones contextuales óptimas para su desarrollo y asume un compromiso educativo enfocado en la inclusión, integrando estrategias que compensen cualquier desventaja (Acuerdo del Consejo Académico. No. 233 del 10 de agosto de 2021).

Además, se propone incorporar un enfoque de modificación cognitiva como parte esencial de la estrategia de enseñanza, buscando que el proceso formativo se enriquezca mediante metodologías activas en un entorno acogedor que prevenga el aburrimiento y promueva la motivación y el deseo de aprender. En este sentido, los enfoques de aprendizaje son vistos como mecanismos adaptativos, de naturaleza fundamentalmente social, donde la colaboración en grupo facilita la mejora de la memoria a largo plazo. A su vez, el modelo sugiere aprovechar las habilidades innatas de cada estudiante, de modo que estas contribuyan a una comprensión más sencilla y profunda de los conceptos (Acuerdo del Consejo Académico. No. 233 del 10 de agosto de 2021).

#### **3.8. Educación y desarrollo de competencias en ciencias**

La formación científica de los ciudadanos se considera actualmente indispensable para el progreso, hasta el punto de constituir una prioridad, como afirma el *National Committee on Science Education Standards & Assessment* (1995): “En un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos. Todos necesitan usar la información científica para tomar las decisiones que surgen a diario” (National Research Council et al., 1995). Esta importancia ha impulsado numerosas investigaciones sobre cómo mejorar la educación científica.

No obstante, la implementación de nuevos métodos pedagógicos propuestos por la investigación educativa enfrenta diversas dificultades. Muchos docentes tienden a mantener sus prácticas tradicionales y a no incorporar los cambios curriculares recomendados, lo que limita la

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

efectividad de las reformas. Esta resistencia, junto con la percepción generalizada entre los estudiantes de que la ciencia es difícil de aprender, pone de manifiesto deficiencias tanto en la enseñanza como en el aprendizaje. Estos problemas pueden atribuirse al sistema educativo, a las estrategias didácticas, a las formas en que los estudiantes aprenden o incluso a la naturaleza del propio contenido. Si bien se ha centrado la atención en las técnicas de enseñanza, se ha descuidado el análisis de cómo aprenden los jóvenes y la pertinencia del contenido, lo cual es especialmente crítico dado que la ciencia es parte obligatoria del currículo y no pueden evitarla (Johnstone, 1991).

En este contexto, cuando la labor docente aborda los avances científicos y tecnológicos, con frecuencia se limita a una exposición descriptiva, sin propiciar el debate, la reflexión, ni la toma de postura por parte de los estudiantes. Esta aproximación ignora su papel crítico, valorativo y participativo, reduciendo la adquisición del conocimiento científico a un proceso pasivo. Además, es evidente la dificultad para promover una educación científica que responda a las necesidades, características y contextos sociales y culturales de los estudiantes (Asencio-Cabot, 2017).

La construcción de conocimientos y habilidades, ya sea individual o colectivamente, constituye un proceso complejo de intercambio de información, en el que los sujetos interpretan y asimilan los mensajes a través de filtros valorativos, sociológicos, culturales y prácticos. En este sentido, se ha demostrado que el aprendizaje de la ciencia y el interés social por ella están estrechamente vinculados a las necesidades específicas de los ciudadanos y a la manera en que estos utilizan y se relacionan con la ciencia y la tecnología para satisfacerlas (Asencio-Cabot, 2017).

Desde una perspectiva más amplia, el campo de las ciencias ocupa una posición destacada dentro de la educación, ya que la investigación e innovación didáctica han generado aportes

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

significativos. Destacan especialmente los estudios sobre las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS), los cuales han formulado propuestas concretas para fomentar en los estudiantes una actitud crítica hacia el papel de la ciencia y la tecnología en su vida cotidiana (Asencio-Cabot, 2017).

En síntesis, la educación científica es fundamental para el desarrollo social y personal, pero su implementación enfrenta retos asociados a prácticas docentes tradicionales, percepciones de dificultad y falta de adaptación a las necesidades y contextos de los estudiantes. Superar estas limitaciones requiere promover enfoques innovadores que prioricen el aprendizaje activo, la participación crítica y la apropiación significativa del conocimiento científico por parte de los estudiantes, así como la comprensión de la ciencia como un fenómeno social, tal como proponen las perspectivas CTS.

#### **3.9. Aprendizaje activo y mediado**

El aprendizaje activo implica que los estudiantes se involucren de manera directa en su proceso educativo, superando la mera recepción pasiva de información escuchando al profesor. Este enfoque promueve actividades como la observación, la reflexión, la resolución de problemas, la clasificación de información y la discusión crítica, lo que favorece una comprensión más profunda y significativa de los conceptos (Huber, 2008). Diversos estudios han demostrado que los métodos de enseñanza activa son más eficaces que los enfoques tradicionales o pasivos para desarrollar competencias cognitivas de orden superior, tales como el pensamiento crítico, la capacidad de análisis y la transferencia del conocimiento a nuevos contextos. Así, el aprendizaje activo no solo transforma el rol del estudiante en el aula, sino que también optimiza la interacción entre docente y estudiante, promoviendo un ambiente de construcción colaborativa del conocimiento (Prince, 2004).

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

En esta misma línea de participación consciente y constructiva, el aprendizaje mediado se concibe como un proceso de interacción pedagógica intencional, en el cual un mediador, ya sea un docente, un compañero o incluso un familiar, facilita la comprensión de los estímulos del entorno. Este mediador actúa como un puente entre el sujeto y la información, ayudando a que el estudiante genere sentido, construya significado y desarrolle herramientas para su autonomía intelectual. Como lo plantea Escobar (2011), el mediador no transmite simplemente contenidos, sino que estimula la curiosidad, el cuestionamiento y la transformación del individuo (Escobar, 2011). En este contexto, la figura del docente cobra un papel fundamental, ya que, aunque el aprendizaje es una responsabilidad personal del estudiante, su orientación profesional es decisiva para propiciar un entorno que favorezca el aprendizaje significativo (Parra, 2014). Este tipo de aprendizaje se produce cuando el estudiante logra relacionar los nuevos conocimientos con sus saberes previos, otorgándoles sentido y utilidad dentro de su estructura cognitiva, lo que facilita una comprensión más profunda y duradera de los conceptos abordados, en contraste con una memorización mecánica y descontextualizada (Ausubel, 1983).

Ambos enfoques, el aprendizaje activo y el aprendizaje mediado, convergen en la necesidad de transformar los modelos educativos tradicionales, situando al estudiante en el centro del proceso formativo. Mientras que el aprendizaje activo enfatiza la participación autónoma y el compromiso intelectual del alumno con las tareas de aprendizaje, el aprendizaje mediado resalta la importancia de la interacción guiada y significativa con otros, en especial con aquellos que poseen mayor experiencia o dominio del conocimiento. Integrar ambos enfoques permite no solo fomentar el desarrollo de competencias académicas y sociales, sino también atender a la diversidad de estilos de aprendizaje y contextos culturales presentes en el aula contemporánea.

**3.9.1. Relación profesor-alumno en el aprendizaje activo y mediado**

En el aprendizaje activo y en el aprendizaje mediado, la relación entre docente y estudiante se fundamenta en la participación directa y la interacción significativa, aunque con matices propios en cada enfoque. En el aprendizaje activo, el profesor asume el papel de facilitador, diseñando actividades y estrategias que estimulen la reflexión, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo, mientras el estudiante se convierte en protagonista de su proceso formativo. En el aprendizaje mediado, esta interacción se torna más personalizada e intencional, ya que el docente actúa como mediador cognitivo, organizando y presentando la información de forma estratégica para promover no solo la adquisición de conocimientos, sino también el desarrollo de habilidades metacognitivas, pensamiento crítico y autonomía. En ambos casos, la relación se caracteriza por la reciprocidad y el acompañamiento constante, asegurando que cada experiencia de enseñanza-aprendizaje fortalezca la comprensión, la motivación y la transferencia de lo aprendido a diversos contextos.

**3.9.2. Procesos vinculados del aprendizaje activo y mediado**

El aprendizaje activo puede entenderse, en términos prácticos, como la incorporación deliberada de actividades significativas dentro de una clase, con el propósito de involucrar al estudiante de manera directa en su proceso de aprendizaje. Un ejemplo común consiste en que el docente realice pausas breves durante la exposición magistral para permitir que los estudiantes revisen y aclaren sus apuntes en pares, fomentando así la interacción, la reflexión y la consolidación del contenido. Diversos estudios han evidenciado que, a lo largo de una clase, la atención del estudiante tiende a disminuir progresivamente, recordando principalmente la información presentada al inicio y mostrando bajos niveles de retención al final (Hartley, J. & Davies, 1978). En este sentido, las pausas activas contribuyen a revitalizar el interés y mantener el compromiso

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

cognitivo. Asimismo, el tipo de actividad empleada tiene un impacto directo en la eficacia del aprendizaje: el uso de estrategias como guías prácticas, talleres, videos, música, dinámicas lúdicas o recursos que vinculen los contenidos con los contextos culturales y sociales del estudiante puede favorecer una mayor comprensión y transferencia del conocimiento (Prince, 2004).

Por otro lado, el aprendizaje mediado parte del principio de que el estudiante no aprende únicamente por exposición a estímulos, sino por la calidad de la intervención que transforma esos estímulos en experiencias significativas (Escobar, 2011). Esta mediación requiere una planificación didáctica centrada en la intencionalidad, la reciprocidad y la trascendencia, es decir, en propiciar actividades que despierten el interés, estimulen el pensamiento reflexivo y promuevan la transferencia del conocimiento a nuevas situaciones. Dentro de esta metodología, el docente emplea preguntas orientadoras, retroalimentación constante, andamiajes cognitivos y situaciones de aprendizaje contextualizadas que conectan con los conocimientos previos del estudiante.

#### ***3.9.3. Evaluación en el aprendizaje activo y mediado***

Para evaluar las competencias adquiridas en el aprendizaje activo, el estudiante debe realizar un proceso de autoevaluación que le permita identificar el grado de dominio alcanzado. Esto puede lograrse mediante encuestas, cuestionarios, pruebas cortas u otras herramientas que faciliten la reflexión sobre los contenidos asimilados y las áreas en las que presenta dificultades. De esta manera, podrá ajustar sus estrategias de estudio en futuros procesos, favoreciendo un aprendizaje más autónomo, consciente y transferible a diferentes contextos.

En el caso del aprendizaje mediado, la evaluación se ve facilitada por la intervención del docente, quien monitorea el progreso del estudiante a lo largo del tiempo a través de diversas metodologías. No obstante, el compromiso del estudiante sigue siendo fundamental, pues debe

reconocer sus fortalezas y debilidades, ya sea consultando al docente, solicitando retroalimentación o recurriendo a un mediador para identificar y corregir errores.

Si bien en la mayoría de las instituciones educativas las competencias se valoran principalmente a través de calificaciones numéricas obtenidas en exámenes, es importante reconocer que este método no siempre refleja con precisión el conocimiento real del estudiante. Factores como la ansiedad, el bloqueo mental, problemas personales o situaciones imprevistas pueden afectar su rendimiento en una prueba escrita. Por ello, resulta pertinente diversificar las estrategias de evaluación, incorporando métodos alternativos que permitan valorar el aprendizaje de manera integral y justa.

### **3.10. Diseño *cuasi*experimental de grupo de control no equivalente**

Un experimento se define como una prueba o ensayo para descubrir, comprobar o demostrar fenómenos, que busca entender propiedades, hechos o principios en la ciencia y la vida cotidiana. En este sentido, Campbell y Stanley (1973) afirman que “por experimento entendemos aquella parte de la investigación en la que se manipulan ciertas variables y se observan sus efectos sobre otras” (Campbell & Stanley, 1973). Así, se considera que se está realizando un experimento cuando, primero, se provoca un fenómeno, es decir, se manipulan variables y, posteriormente, se estudian, miden u observan sus efectos de forma sistemática.

Entre los aportes metodológicos más relevantes en este campo se encuentra el “experimento rotatorio” propuesto por Ronald Fisher, el cual fue adaptado por McCall como una estrategia de control en contextos donde no es posible asignar aleatoriamente grupos equivalentes. En tales situaciones, se recurre a los llamados diseños *cuasi*experimentales, que permiten mantener cierto grado de validez interna aun sin una aleatorización estricta, y resultan especialmente útiles en investigaciones educativas y sociales (Campbell & Stanley, 1973).

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Dentro de los enfoques experimentales y *cuasi*experimentales más utilizados en psicología y educación, destacan los diseños con grupo de control, como el diseño pretest-postest con grupo de control, el diseño con postest únicamente, y con mayor frecuencia, el diseño *cuasi*experimental de grupo de control no equivalente. Estos diseños han adquirido tal protagonismo que algunos investigadores descartan por completo la realización de estudios cuando no se dispone de un grupo de control. Particularmente, el diseño *cuasi*experimental de grupo de control no equivalente es ampliamente empleado en investigaciones educacionales. Este incluye un grupo experimental y un grupo de control, ambos sometidos a pruebas antes y después de la intervención, aunque sin garantizar equivalencia inicial en la conformación de los grupos, como sucede con agrupaciones naturales, por ejemplo, un salón de clase (Campbell & Stanley, 1973). La asignación de la variable experimental ( $X$ ), cuyo efecto se desea medir, se supone aleatoria entre ambos grupos y es controlada por el investigador.

Ahora bien, al seleccionar un tipo de diseño, es fundamental considerar los factores que pueden afectar su validez, tanto interna como externa. La validez interna responde a la pregunta: ¿Los tratamientos empíricos aplicados realmente produjeron un efecto en este caso experimental específico?, y constituye el requisito mínimo indispensable para interpretar los resultados con rigor. Por su parte, la validez externa se refiere a la capacidad de generalizar los resultados más allá del contexto del estudio, y plantea interrogantes como: ¿A qué poblaciones, situaciones, variables de tratamiento y medición pueden extrapolarse estos efectos?

Campbell y Stanley (1973) identifican diversos factores que pueden comprometer la validez. En el caso de la validez interna, se destacan ocho amenazas principales:

- I. Historia: acontecimientos externos ocurridos entre la medición inicial y final, además de la variable experimental.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

- II. Maduración: procesos internos del participante asociados al paso del tiempo, como el cansancio o el hambre.
- III. Administración de tests: influencia de una prueba previa sobre el desempeño en una prueba posterior.
- IV. Instrumentación: cambios en los instrumentos de medición o en los evaluadores que afectan los resultados.
- V. Regresión estadística: tendencia de los puntajes extremos a acercarse a la media en mediciones sucesivas.
- VI. Sesgo en la selección de grupos: diferencias preexistentes entre los grupos de comparación.
- VII. Mortalidad experimental: pérdida desigual de participantes en los grupos de estudio.
- VIII. Interacción entre selección y maduración: cuando las características de los grupos interactúan con el tiempo de forma que confunden el efecto real de la variable experimental.

En cuanto a la validez externa, se identifican tres amenazas comunes:

- I. Efecto reactivo del pretest: cuando la aplicación del pretest altera la sensibilidad de los participantes a la intervención, afectando la posibilidad de generalizar los resultados a una población sin pretest.
- II. Interacción entre el sesgo de selección y la variable experimental: cuando el efecto observado depende de las características específicas de los grupos seleccionados.
- III. Efectos reactivos del contexto experimental: cuando las condiciones artificiales del experimento limitan la generalización a situaciones del mundo real.

Considerar estas amenazas es esencial para el diseño riguroso de investigaciones experimentales y *cuasi*experimentales, especialmente en el ámbito educativo, donde las

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

condiciones ideales de control rara vez están presentes. En síntesis, la Tabla 1 presenta las principales fuentes de invalidación interna y externa aplicables al diseño de grupo de control no equivalente, lo cual permite visualizar de manera sistemática los riesgos metodológicos que deben ser atendidos para garantizar la calidad y la interpretabilidad de los resultados.

**Tabla 1**

*Fuentes de invalidación para el diseño de grupo de control no equivalente.*

Fuentes de invalidación										
Interna								Externa		
Historia	Maduración	Administración de tests	Instrumentación	Regresión	Selección	Mortalidad	Interacción de selección y maduración, etc.	Interacción de administración de test y $X$	Interacción de selección y $X$	Dispositivos reactivos
+	+	+	+	?	+	+	-	-	?	?

*Nota.* El signo negativo (-) indica que hay imperfección definida; el positivo (+), que el factor está controlado y el interrogativo (?), la presencia de una posible causa de preocupación. Tomado y modificado de: (Campbell & Stanley, 1973)

### 3.11. Prueba *t de Student*

En el ámbito educativo y de la investigación, se dispone de diversas herramientas estadísticas para evaluar diferencias y contrastar hipótesis, entre las que destacan el análisis de varianza (ANOVA), la prueba Z, el análisis de regresión, la prueba de chi-cuadrado, la prueba U de Mann-Whitney y la prueba *t de Student* (Gómez-Gómez et al., 2013). Esta última constituye un recurso ampliamente utilizado para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de dos grupos, resultando particularmente útil en la comparación de

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

poblaciones, la evaluación de tratamientos, el análisis de resultados experimentales, el estudio de diferencias por género y el procesamiento de datos provenientes de encuestas (Haynes, 2013).

Para su correcta aplicación, la prueba *t de Student* exige el cumplimiento de tres supuestos fundamentales: I) normalidad de los datos, verificada mediante pruebas como Kolmogórov-Smirnov o Shapiro-Wilk; II) homogeneidad de varianzas, evaluada con el test de Levene; y III) independencia de las observaciones, garantizando que un grupo no influya en el otro (Gómez-Gómez et al., 2013; Haynes, 2013). La verificación de estos criterios es esencial, dado que su incumplimiento compromete la validez y la interpretación de los resultados.

Existen distintas variantes de la prueba *t de Student*, cada una adaptada a contextos específicos. La *t* para dos muestras independientes compara las medias de grupos sin relación entre sí, mientras que la *t* para muestras relacionadas o emparejadas se aplica a mediciones dependientes, como las obtenidas antes y después de un tratamiento en los mismos sujetos. Por su parte, la *t* de una muestra contrasta la media observada con un valor de referencia conocido (Mishra et al., 2019). Según la homogeneidad de varianzas, se emplea la versión para varianzas iguales o para varianzas heterogéneas; y, en función de la direccionalidad de la hipótesis, la prueba puede ser unilateral (una cola) o bilateral (dos colas). Seleccionar la variante apropiada y cumplir rigurosamente con los supuestos garantiza la obtención de conclusiones estadísticamente sólidas y relevantes para la investigación.

#### 4. Metodología

La investigación se realizó con un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos, y un diseño *cuasi*experimental de grupo de control no equivalente.

##### 4.1. Muestra de investigación

La población de estudio estuvo conformada por los estudiantes matriculados en el Laboratorio de Química Orgánica I durante el semestre 2025-2, quienes estuvieron cursando o cursaron la asignatura de Química Orgánica I en la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander.

##### 4.2. Materiales

El estudio se aplicó en el laboratorio 220 del edificio de Laboratorios Livianos de la Universidad Industrial de Santander. Para ello se contaron con 20 cajas de modelos moleculares físicos de esferas y varillas (cajas de modelos moleculares orgánicos para estudiantes, de Wuhan Danze Trading Co., Ltd. y modelo SDJZT). Las piezas de las cajas están fabricadas en polipropileno (PP), con una superficie lisa y sin bordes cortantes.

La caja tiene unas dimensiones de 17.5\*9.8\*2.3 cm y contiene piezas plásticas (esferas y varillas) así: 26 piezas representan hidrógenos (naranja), 18 carbonos  $sp^3$  (negro), 4 oxígenos (azul claro), 3 nitrógenos (azul oscuro), 4 cloros (verde), 32 enlaces cortos (blanco) y 12 enlaces largos para hacer enlaces  $\pi$  (blanco), para un total de 99 piezas.

##### 4.3. Análisis pre-exploratorio sobre la percepción docente y estudiantil ante el tema del curso

Para conocer la percepción de docentes y estudiantes sobre la enseñanza de la estereoquímica en el curso de Química Orgánica I del plan 11 de la Escuela de Química, se diseñó una encuesta descriptiva. Esta incluye preguntas acerca de la visión de los docentes sobre los

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

métodos de enseñanza que emplean y el aprendizaje de los estudiantes en este tema del curso (Turan-Oluk et al., 2022). Además, se elaboró otra encuesta descriptiva dirigida a los estudiantes que ya han aprobado la asignatura de Química Orgánica I, con el fin de explorar sus experiencias y opiniones sobre la enseñanza de este contenido en el plan de estudios (Tiznado et al., 2014).

### **4.4. Elaboración de guías instructivas y del docente, actividades, exámenes diagnósticos, evaluaciones parciales y exámenes acumulativos**

Se elaboraron cuatro (4) guías instructivas para cada grupo, para los estudiantes del grupo experimental, orientadas al uso adecuado de la caja de modelos moleculares físicos tridimensionales. Estas incluían actividades sobre la construcción e identificación de moléculas, así como el análisis de aspectos estructurales como la hibridación, la geometría molecular y los ángulos de enlace. De manera paralela, se diseñaron las guías para el grupo de control con la misma estructura, pero sin las actividades prácticas de construcción molecular.

Las guías incorporaron ejercicios para la identificación de estereocentros y estereoisómeros, la asignación de configuraciones *R/S* y la relación entre las representaciones tridimensionales y bidimensionales empleadas en química orgánica. Además, se diseñaron cuatro (4) exámenes diagnósticos, ocho (8) evaluaciones parciales y ocho (8) exámenes acumulativos, con preguntas tomadas de la guía de estudio para química orgánica *American Chemical Society (ACS)* (Eubanks & Eubanks, 2002) para valorar el nivel de aprendizaje y el desarrollo de las competencias en estereoquímica (Alsfouk, 2022). Las guías, los exámenes y las evaluaciones aparecen en los anexos y apéndices.

#### **4.5. Aplicación y análisis del estudio**

De acuerdo con el plan de estudios No.11 de la Escuela de Química, los estudiantes que hayan aprobado el curso de Química Orgánica I y estén cursando la asignatura Química Orgánica II matriculan el curso de Laboratorio de Química Orgánica I. Usualmente, en cada semestre se organizan para el curso de laboratorio dos (2) grupos con aproximadamente dieciséis (16) estudiantes cada uno; sin embargo, durante el periodo académico 2025-2 se conformaron tres grupos: E2 (martes) con ocho (8) estudiantes, E1 (miércoles) con ocho (8) estudiantes y E3 (viernes) con quince (15) estudiantes.

Con el fin de equilibrar la cantidad de participantes en esta investigación y garantizar la representatividad de los datos, se decidió agrupar los estudiantes de los grupos E1 y E2, conformando un conjunto de dieciséis (16) participantes, mientras que el grupo E3 se mantuvo con quince (15). La asignación de los grupos como experimental y de control se realizó de manera aleatoria, con el propósito de minimizar posibles sesgos. Como resultado, los grupos E1 y E2 se designaron como el grupo experimental, empleando en este los modelos moleculares físicos tridimensionales durante las sesiones; el grupo E3 se estableció como grupo de control, trabajando bajo la metodología tradicional sin dichos modelos.

Esta distribución fue revisada y aprobada por los directores de este trabajo y por los docentes responsables del curso, considerando que la aplicación de la nueva metodología sería más efectiva en grupos pequeños, facilitando el control y la supervisión del uso de los modelos.

A los profesores a cargo de la supervisión del curso de Laboratorio de Química Orgánica I (Grupos E1 y E2), correspondientes al grupo experimental, se les entregó una guía docente detallada que integraba los modelos moleculares tridimensionales como recurso didáctico para el fortalecimiento de las habilidades visoespaciales. Al docente del grupo de control se le proporcionó

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

una guía con la misma estructura y objetivos de aprendizaje, pero siguiendo la metodología tradicional. En ambas guías se especificó la secuencia de actividades, el tiempo de aplicación y las estrategias de evaluación.

### 4.5.1. Desarrollo de la intervención

La intervención se estructuró bajo un diseño *cuasi*experimental con grupo de control no equivalente, con aplicación de pre-test y post-test (Campbell & Stanley, 1973). Este tipo de diseño permitió comparar el desempeño de los estudiantes antes y después de la implementación de la estrategia didáctica, así como establecer diferencias entre los grupos de estudio. Durante el desarrollo de la intervención se incorporaron guías de trabajo y evaluaciones intermedias, las cuales tuvieron como propósito acompañar el proceso de aprendizaje, monitorear el progreso de los estudiantes y proporcionar retroalimentación continua, favoreciendo así una comprensión gradual de los conceptos de estereoquímica abordados.

La intervención se llevó a cabo a lo largo de seis sesiones desarrolladas durante el semestre 2025-2, siguiendo la misma secuencia temporal para ambos grupos, pero con metodologías distintas.

- ❖ Primera sesión: presentación del estudio, explicación del consentimiento informado y aplicación del examen diagnóstico (en formato escrito y empleando la plataforma Moodle 4.4 del Aula Virtual de Aprendizaje-UIS. \*).
- ❖ Segunda y tercera sesión: desarrollo de las guías I y II, enfocadas en la identificación estructural y representación tridimensional de moléculas; en el grupo experimental se utilizaron modelos moleculares físicos, mientras que el grupo de control realizó las mismas actividades de forma tradicional.

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

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

- ❖ Cuarta sesión: aplicación de una evaluación parcial sobre los contenidos de las guías I y II, y posterior desarrollo de la guía III. Quinta sesión: desarrollo de la guía IV y aplicación de una segunda evaluación parcial sobre los contenidos de las guías III y IV.
- ❖ Sexta sesión: aplicación de la encuesta de satisfacción correspondiente a cada metodología y de los exámenes acumulativos finales.

### 4.5.2. *Evaluaciones parciales y exámenes finales aplicados*

Durante la intervención se aplicaron evaluaciones parciales (quices) en formato escrito y digital (usando el Aula Virtual de Aprendizaje-UIS), con el objetivo de medir el avance en las competencias cognitivas y visoespaciales relacionadas con la estereoquímica. Estas evaluaciones se aplicaron simultáneamente a ambos grupos (control y experimental) para permitir la comparación de resultados.

En la última sesión, se incluyó también una encuesta de satisfacción a los estudiantes de ambos grupos. En el caso del grupo experimental, la encuesta evaluó la percepción sobre el uso de los modelos moleculares tridimensionales como recurso de aprendizaje; en el grupo de control, se valoró la metodología tradicional (da Silva Júnior et al., 2022).

Posteriormente, se llevaron a cabo dos (2) exámenes acumulativos, con el propósito de analizar el impacto de cada metodología en el aprendizaje. El primer examen se realizó sin el uso de modelos moleculares, mientras que en el segundo examen ambos grupos los emplearon, permitiendo evaluar de manera objetiva las diferencias en el desempeño conceptual y visoespacial (Alsfook, 2022). Además, se aplicó un examen en la plataforma Moodle 4.4 del Aula Virtual de Aprendizaje-UIS, con el fin de contrastar los resultados entre los diferentes formatos de evaluación.

#### 4.5.3. Análisis de los datos

Los resultados obtenidos en las distintas evaluaciones fueron analizados mediante estadística descriptiva con el fin de comparar el desempeño de los estudiantes pertenecientes a los grupos experimental y de control. Posteriormente, se aplicó una prueba *t de Student* para muestras independientes con el objetivo de determinar la significancia estadística de las diferencias observadas entre ambos grupos, dado que el tamaño muestral fue reducido y la varianza poblacional era desconocida. El estadístico de prueba se fundamentó en la distribución *t de Student*.

La información cuantitativa se representó a través de gráficos de barras y de líneas emparejadas. Complementariamente, se realizó un análisis cualitativo de la bitácora de observaciones en las sesiones y de las encuestas de satisfacción de los participantes con el propósito de interpretar las actitudes y valoraciones de estudiantes frente a las metodologías implementadas.

#### 4.6. Consideraciones éticas

En concordancia con lo establecido por la Ley 1581 de 2012 sobre la protección de datos personales en Colombia, se garantizó que los datos recolectados durante la aplicación de las encuestas fueran tratados con total confidencialidad y utilizados exclusivamente con fines académicos vinculados al desarrollo de la presente investigación. La información obtenida fue procesada de forma anónima, sin divulgar en ningún caso datos que permitieran la identificación individual de los participantes.

De acuerdo con la normativa vigente, los estudiantes conservaron el derecho de acceder, actualizar, rectificar o eliminar sus datos personales, así como de revocar el consentimiento otorgado para su tratamiento en cualquier momento. La participación en las encuestas implicó la aceptación voluntaria de las condiciones de tratamiento de los datos conforme a lo descrito.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Con el fin de asegurar la ética y la transparencia del proceso investigativo, todos los participantes involucrados en la aplicación de la metodología propuesta firmaron un consentimiento informado (Anexo A). Este documento, entregado de manera individual, detalló los objetivos, procedimientos, beneficios, posibles riesgos, así como las garantías de confidencialidad y protección de la información recolectada. La participación fue completamente voluntaria, y los estudiantes tuvieron plena libertad para aceptar o rechazar su inclusión en el estudio, sin que ello afectara su desempeño académico.

## 5. Resultados y Análisis

### 5.1. Percepción docente y estudiantil ante la estereoquímica en el curso de Química Orgánica

#### I

La información presentada en este capítulo se obtuvo a partir de la aplicación de encuestas dirigidas a docentes y estudiantes de la Escuela de Química, diseñadas con el propósito de indagar sus percepciones, experiencias y valoraciones en torno a la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica.

Los instrumentos utilizados incluyen preguntas cerradas de selección múltiple, escala tipo Likert y preguntas NPS (Net Promoter Score), así como preguntas abiertas que permitieron profundizar en las opiniones de los participantes. Los formatos completos de las encuestas aplicadas se encuentran disponibles en el Apéndice A (docentes) y Apéndice B (estudiantes).

#### 5.1.1. Percepción docente

**5.1.1.1. Caracterización del profesorado participante.** Con el propósito de contextualizar las percepciones docentes sobre la enseñanza de la estereoquímica, se realizó una caracterización general del profesorado de química orgánica en la Escuela de Química. Esta caracterización permitió identificar aspectos relacionados con su trayectoria profesional y su formación en pedagogía o didáctica, elementos que influyen directamente en las estrategias de enseñanza empleadas y en la forma como se abordan los contenidos de estereoquímica dentro del aula.

En relación con la experiencia docente, se evidenció que los 5 profesores participantes presentaban trayectorias diversas dentro de la Escuela de Química. Dos (2) profesores contaban con una amplia experiencia, con aproximadamente dos (2) décadas o más de ejercicio profesional,

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

mientras que los otros tres (3) habían iniciado su labor docente en años más recientes. En conjunto, esta variedad de trayectorias permitió recoger percepciones provenientes tanto de docentes con una larga permanencia en la institución como de profesores con menor tiempo de vinculación, lo cual enriqueció el análisis.

Respecto a la formación en pedagogía, didáctica o educación, se observó que el 80% de los profesores contaba con algún tipo de preparación en este ámbito. Predominó la formación complementaria, como diplomados u otros cursos relacionados con la enseñanza, reportada por varios profesores en un 60%. Asimismo, uno (1) de los profesores indicó poseer formación pedagógica formal, correspondiente a estudios de licenciatura, especialización o maestría. Por otro lado, uno (1) de los profesores manifestó no contar con formación pedagógica formal, aunque destacó su experiencia práctica como principal recurso para el desarrollo de su labor docente.

En conjunto, estos resultados evidenciaron la heterogeneidad del profesorado participante en términos de experiencia y formación pedagógica, lo que permitió obtener una visión amplia y diversa sobre la enseñanza de la estereoquímica y sentó las bases para el análisis posterior de sus percepciones, dificultades identificadas y estrategias didácticas empleadas.

**5.1.1.2. Dificultades percibidas en el aprendizaje de la estereoquímica.** Para identificar las principales dificultades asociadas al aprendizaje de la estereoquímica, se analizaron las respuestas de los profesores a las preguntas abiertas relacionadas con las problemáticas observadas en los estudiantes y los errores más frecuentes durante el desarrollo de estos contenidos. El análisis conjunto de estas respuestas permitió identificar patrones recurrentes que evidencian limitaciones, tanto a nivel conceptual como en la visualización espacial de las estructuras moleculares.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Uno de los aspectos señalados con mayor frecuencia por los profesores corresponde a la dificultad de los estudiantes para relacionar representaciones bidimensionales con estructuras tridimensionales. En este sentido, uno de los participantes manifestó que los estudiantes “*no están plenamente familiarizados con la representación gráfica 2D de las estructuras 3D*”, lo cual dificulta la comprensión de la disposición espacial de los átomos en una molécula. Esta percepción es coherente con lo expresado por otro profesor, quien indicó que “*no todas las personas tienen habilidades para visualizar en 3D, por eso se hace necesario explicar con diferentes herramientas didácticas este tema*”, resaltando la heterogeneidad en las habilidades espaciales del estudiantado.

De manera específica, los profesores destacaron dificultades asociadas a la interpretación y conversión entre diferentes sistemas de representación, en particular las proyecciones de Fischer. Un profesor señaló como problemática frecuente la comprensión de “*proyecciones de Fischer con varios centros quirales y su conversión a representaciones de zigzag*”, lo cual evidencia que los estudiantes presentan dificultades al trasladar una representación convencional bidimensional a modelos más cercanos a la estructura tridimensional real de la molécula.

Asimismo, las respuestas indican que estas dificultades no se limitan únicamente a la representación gráfica, sino que se encuentran estrechamente relacionadas con falencias en la comprensión conceptual. En este sentido, varios profesores coincidieron en que los estudiantes presentan confusiones entre conceptos fundamentales de la estereoquímica. Uno de ellos afirmó que los estudiantes “*confunden los conceptos básicos (conformación, configuración, isomería conformacional y quiralidad)*”, mientras que otro profesor señaló que existen errores recurrentes al “*establecer diferencias entre el concepto de configuración versus conformación y al desarrollar una adecuada perspectiva espacial*”.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Otro error señalado es la asignación incorrecta de configuraciones absolutas *R* y *S*, la cual, según un profesor, se debe a “*una mala observación o al mal uso de las reglas CIP*”. Esta dificultad se asocia tanto a una aplicación inadecuada de los criterios de prioridad como a limitaciones en la visualización espacial necesaria para analizar correctamente la orientación de los sustituyentes alrededor del centro quiral.

Adicionalmente, los profesores resaltaron que los estudiantes suelen omitir el análisis conformacional, lo que afecta la comprensión integral de las moléculas. Al respecto, uno de los participantes indicó que los estudiantes “*usualmente omiten el análisis conformacional*”, mientras que otro enfatizó que presentan dificultades relacionadas con “*la orientación espacial y la visualización en 3D*”. Estas falencias se ven reforzadas, según los profesores, por la falta de práctica tanto en el aula como fuera de ella, como lo expresó uno de los participantes al señalar que los estudiantes “*no practican ni en clase ni en la casa*”.

Finalmente, algunos profesores asociaron estas dificultades con aspectos transversales del proceso de aprendizaje, como la débil comprensión lectora y la escasa ejercitación de la perspectiva espacial. En este sentido, un profesor manifestó que los estudiantes presentan “*débil comprensión de lectura, no ejercitan la perspectiva espacial y no realizan ejercicios que les permitan afianzar los conceptos*”, lo que evidencia la necesidad de estrategias didácticas que integren el desarrollo de habilidades cognitivas y espaciales.

En general, los resultados evidencian que las dificultades en el aprendizaje de la estereoquímica se centran principalmente en la comprensión de los conceptos fundamentales, la visualización tridimensional y la interpretación de diferentes representaciones moleculares. Estas percepciones docentes sustentan la pertinencia de diseñar e implementar estrategias didácticas que

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

fortalezcan la relación entre las representaciones 2D y 3D, promuevan el análisis conformacional y favorezcan una apropiación más sólida de los conceptos estructurales abordados en este estudio.

Esta percepción docente no constituye un fenómeno aislado. En un estudio realizado con 116 profesores de química de Suiza, Alemania, Austria y Dinamarca, se evidenció que los docentes identifican como dificultades recurrentes en sus estudiantes la interpretación y representación de estructuras químicas, particularmente en aspectos relacionados con la orientación espacial, enlaces incorrectos o faltantes y problemas en la transferencia entre distintos modos de representación. Los autores señalan que, si bien los expertos pueden transitar con fluidez entre diferentes formas de representación, los estudiantes presentan dificultades para construir los modelos mentales necesarios que les permitan comprender la organización tridimensional de las moléculas (Thoms et al., 2026). Estos hallazgos resultan especialmente relevantes para la enseñanza de la estereoquímica, área que exige un alto nivel de visualización tridimensional y manejo de convenciones gráficas específicas.

**5.1.1.3. Estrategias y recursos didácticos utilizados por los profesores.** Con el propósito de caracterizar las estrategias y recursos didácticos empleados por los profesores de la Escuela de Química en la enseñanza de la estereoquímica, se analizaron las respuestas correspondientes a las preguntas 4 y 7 de la encuesta docente. Ambas preguntas indagan, desde perspectivas complementarias, tanto por los recursos que los profesores utilizan habitualmente en el aula como por aquellos que, según su experiencia, resultan más efectivos para favorecer el aprendizaje de los conceptos espaciales y las configuraciones moleculares.

En relación con la pregunta sobre los recursos didácticos utilizados de manera habitual para facilitar la comprensión de los temas de estereoquímica, los cinco (5) profesores participantes

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

señalaron emplear una amplia variedad de estrategias. En todos los casos (5 de 5), los profesores reportaron el uso de presentaciones digitales (PowerPoint, Canva, Prezi, etc.), recursos tecnológicos (videos, simuladores, páginas web, etc.), modelos moleculares físicos (esferas, varillas, modelos esqueléticos, etc.), explicaciones en el tablero y resolución de ejercicios. Ninguno de los profesores indicó utilizar estrategias adicionales distintas a las opciones propuestas en el instrumento.

Estos resultados evidencian que, desde la perspectiva docente, la enseñanza de la estereoquímica se apoya en una combinación de recursos tradicionales y herramientas didácticas de carácter visual e interactivo, lo que sugiere una intención pedagógica orientada a diversificar las metodologías empleadas para abordar un contenido que implica un alto nivel de abstracción espacial.

Por otra parte, cuando se indagó acerca de las estrategias que los profesores consideran más efectivas para favorecer el aprendizaje de los conceptos espaciales y las configuraciones moleculares, se observó una selección más diferenciada de los recursos. En este caso, tres (3) de los cinco (5) profesores señalaron los recursos tecnológicos (videos, simuladores y páginas web) como especialmente efectivos, mientras que otros tres (3) destacaron el uso de modelos moleculares físicos. La resolución de ejercicios fue considerada efectiva por dos (2) profesores, mientras que las presentaciones digitales y las explicaciones en el tablero fueron mencionadas por un (1) profesor cada una. Adicionalmente, uno (1) de los profesores incluyó como estrategia efectiva la asignación de temas a los estudiantes para su explicación en clase, resaltando el valor del aprendizaje activo y la participación estudiantil.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

En conjunto, estas respuestas ponen de manifiesto que, aunque los profesores emplean de forma habitual múltiples recursos en el desarrollo de sus clases, reconocen que aquellos que permiten una interacción directa con las representaciones moleculares, ya sea mediante modelos físicos o recursos tecnológicos interactivos, resultan particularmente relevantes para facilitar la comprensión de la estereoquímica. En este sentido, los profesores identifican la visualización tridimensional y la manipulación de estructuras como elementos clave para el aprendizaje de conceptos que requieren el desarrollo de habilidades visoespaciales.

**5.1.1.4. Tiempo destinado a la enseñanza de la estereoquímica.** El análisis de las respuestas correspondientes a la pregunta 5 de la encuesta docente permitió identificar cómo los profesores distribuyeron el tiempo académico destinado al desarrollo de los contenidos de estereoquímica dentro de sus cursos. Al tratarse de una pregunta abierta, las respuestas ofrecieron una visión amplia sobre las prácticas docentes y la organización temporal de este eje temático.

Las respuestas evidenciaron que el tiempo asignado a la estereoquímica varió de manera considerable entre los profesores, expresándose tanto en porcentajes de clase como en número de semanas u horas totales del semestre. Uno de los profesores indicó dedicar “*al menos el 20% de la clase*” a estos contenidos, lo que sugiere una integración progresiva del tema a lo largo del curso. Otro profesor señaló que, si bien no había impartido este curso específicamente en el programa de Química, sí lo había abordado en asignaturas de otras carreras, estimando que “*mínimo se deben invertir de 6 a 8 horas*”, equivalentes aproximadamente a dos (2) semanas de clase.

De forma similar, un tercer profesor manifestó dedicar alrededor de “*tres semanas*” al desarrollo de los temas de estereoquímica. Por su parte, un cuarto profesor indicó que el abordaje del capítulo completo de estereoquímica se extendía entre “*tres a cuatro semanas*”, en

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

correspondencia con la estructura del texto guía del curso. Finalmente, otro profesor expresó el tiempo destinado en términos de carga horaria total, estimando una dedicación de “16 a 20 horas al semestre”.

En términos generales, estas respuestas mostraron que la estereoquímica fue considerada un componente central dentro de los cursos de Química Orgánica I, al que se le asignó un periodo importante del tiempo académico disponible. No obstante, también se evidenció una marcada variabilidad en la duración y forma de distribución de estos contenidos, lo cual pudo influir tanto en la profundidad del tratamiento conceptual como en las estrategias didácticas implementadas. Esta diversidad en la planificación temporal resalta la necesidad de emplear metodologías que permitan aprovechar de manera más efectiva el tiempo destinado a la enseñanza de la estereoquímica, especialmente considerando la complejidad espacial que caracteriza a estos conceptos.

**5.1.1.5. Actitudes y percepciones frente al uso de recursos didácticos.** Las actitudes y percepciones de los profesores frente al uso de recursos didácticos en la enseñanza de la estereoquímica se analizaron a partir de cuatro afirmaciones evaluadas mediante una escala tipo Likert. Estas permitieron explorar tanto la valoración del tiempo asignado a la temática como la disposición hacia el uso y la incorporación de recursos didácticos en el aula.

En relación con la suficiencia del tiempo destinado al desarrollo de los contenidos de estereoquímica, las respuestas evidenciaron una percepción heterogénea entre los profesores. Mientras un 40% manifestó desacuerdo (20% totalmente en desacuerdo y 20% parcialmente en desacuerdo) con la afirmación de que el tiempo asignado es suficiente para una adecuada comprensión, otro 40% se ubicó en una posición de acuerdo parcial y un 20% en total acuerdo.

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Esta distribución reflejó la ausencia de consenso sobre la adecuación del tiempo disponible, lo cual sugiere que, para una parte del profesorado, la complejidad de los conceptos estereoquímicos exige una mayor dedicación temporal dentro del curso.

Respecto al uso de recursos tecnológicos en la enseñanza de la estereoquímica, la totalidad de los profesores manifestó algún grado de acuerdo. En particular, el 80% se ubicó en la categoría de parcialmente de acuerdo y el 20% en totalmente de acuerdo, lo que indicó que, si bien estos recursos son empleados, su implementación podría no ser sistemática o constante en todos los casos.

De manera consistente, los profesores mostraron una valoración positiva del impacto de los recursos didácticos, tanto físicos como digitales, en la comprensión de los conceptos de estereoquímica. Un 60% se declaró totalmente de acuerdo con esta afirmación, mientras que el 40% restante estuvo parcialmente de acuerdo, lo que puso de manifiesto un reconocimiento generalizado del potencial de estos recursos para facilitar el aprendizaje de contenidos con alta carga espacial y abstracta.

Finalmente, en cuanto al interés por conocer o explorar nuevas estrategias que faciliten la enseñanza de la estereoquímica, nuevamente se observó una actitud favorable por parte del profesorado. El 60% expresó total acuerdo y el 40% acuerdo parcial, lo que evidenció una disposición abierta hacia la innovación pedagógica y la mejora de las prácticas docentes en este campo.

En síntesis, los resultados de esta sección mostraron que, aunque existen diferencias en la percepción sobre la suficiencia del tiempo asignado a la estereoquímica, los docentes coincidieron

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

en reconocer el valor de los recursos didácticos y manifestaron una actitud positiva hacia la incorporación de nuevas estrategias de enseñanza. Estas percepciones respaldan la pertinencia de propuestas pedagógicas orientadas al uso de recursos innovadores para fortalecer la comprensión de los conceptos estereoquímicos.

### 5.1.2. *Percepción estudiantil*

**5.1.2.1. Caracterización académica de los estudiantes.** La encuesta de percepción estudiantil fue respondida de forma voluntaria por 130 estudiantes, de los 460 totales de la Escuela de Química, que fueron contactados vía correo electrónico. Con el propósito de contextualizar los resultados posteriores, se incluyeron preguntas orientadas a caracterizar la experiencia académica de los participantes frente al curso de Química Orgánica I y, particularmente, frente al abordaje del tema de estereoquímica.

En la primera pregunta, el 68% (89 estudiantes) indicó haber cursado Química Orgánica I, mientras que el 32% (41 estudiantes) manifestó no haberlo hecho. En coherencia con el objetivo del instrumento, únicamente los 89 estudiantes que confirmaron haber cursado la asignatura continuaron con las siguientes preguntas del cuestionario.

En relación con el tiempo transcurrido desde que cursaron la asignatura, el 36% reportó haberla cursado hace 1-2 semestres; el 33%, entre 3-4 semestres; el 25%, entre 5-6 semestres; y el 7%, hace más de 6 semestres. Esta distribución evidencia la participación de estudiantes que cursaron la asignatura en distintos momentos académicos, lo que permite integrar percepciones correspondientes a diferentes cohortes y periodos formativos. Lo anterior resulta relevante, ya que posibilita analizar la experiencia estudiantil a lo largo de un intervalo temporal amplio, considerando que los participantes pudieron haber sido orientados por distintos docentes o haber

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

cursado la asignatura en contextos académicos particulares. De este modo, el análisis no se circunscribe exclusivamente a estudiantes con experiencias recientes ni a quienes cursaron la asignatura hace varios semestres, sino que contempla una diversidad de trayectorias académicas.

No obstante, se destaca que el 36% de los participantes cursó la asignatura en 1-2 semestres previos a la aplicación del instrumento, lo cual aporta una perspectiva actualizada sobre las estrategias y recursos empleados en el curso. Esto contribuye a que los resultados no se fundamenten únicamente en experiencias distantes en el tiempo, sino que incluyan valoraciones recientes que reflejan la práctica docente contemporánea.

Respecto al número de veces que cursaron la asignatura, el 81% indicó haberla cursado una sola vez, el 18% dos (2) veces y el 1% tres (3) o más veces. Estos datos sugieren que la mayoría de los estudiantes aprobó la asignatura en su primer intento, aunque existe un grupo minoritario que ha debido repetirla.

Posteriormente, el 93% (83 estudiantes) afirmó recordar haber abordado el tema de estereoquímica durante el curso, mientras que un 2% indicó que no y un 4% manifestó no recordarlo. En consecuencia, a partir de la quinta pregunta el análisis se realizó exclusivamente con los 83 estudiantes que confirmaron tanto haber cursado la asignatura como recordar el tratamiento del tema. Por tanto, los porcentajes presentados en las secciones siguientes se calculan sobre este grupo específico ( $n = 83$ ), lo cual permite mantener coherencia metodológica y precisión en la interpretación de los resultados relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica.

**5.1.2.2. Dificultades percibidas en el aprendizaje.** Considerando a los estudiantes que confirmaron haber cursado la asignatura y recordar el abordaje del tema ( $n=83$ ), se indagó sobre los aspectos de la estereoquímica que resultaron más difíciles de comprender. Dado que la pregunta permitía seleccionar más de una opción, los porcentajes presentados no son excluyentes entre sí.

La dificultad más reportada fue aplicar la estereoquímica en reacciones (59%), seguida de diferenciar enantiómeros y diastereoisómeros (57,8%) y usar proyecciones de Fischer (49,4%). En cuarto lugar, el 47% señaló dificultades en la interpretación de la estructura tridimensional de las moléculas.

Aunque esta última no corresponde al porcentaje más alto, resulta relevante destacar que varias de las dificultades más frecuentes se encuentran estrechamente vinculadas con la comprensión espacial de las moléculas. La diferenciación entre enantiómeros y diastereoisómeros exige reconocer configuraciones tridimensionales específicas, mientras que el uso de proyecciones de Fischer implica transformar representaciones bidimensionales en estructuras espaciales coherentes. De igual manera, la aplicación de la estereoquímica en reacciones requiere analizar la configuración de los reactivos, por ejemplo, la asignación *R/S* o la identificación de mezclas racémicas, para anticipar la estereoquímica del producto obtenido.

En este sentido, aunque los estudiantes no siempre identifiquen explícitamente la visualización tridimensional como la principal dificultad, los resultados sugieren que esta constituye un eje transversal que sustenta varios de los procesos estereoquímicos considerados complejos. Otras dificultades señaladas fueron relacionar la estructura con las propiedades físicas (32,5%) y asignar configuraciones *R/S* (22,9%), mientras que aspectos como identificar carbonos

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

quirales (8,4%) y clasificar moléculas quirales y aquirales (8,4%) presentaron menor frecuencia de selección. Un 1,2% indicó “otras” dificultades, especificando la nomenclatura.

Estos resultados permiten identificar que las principales dificultades percibidas no se limitan a la identificación inicial de centros quirales, sino que se intensifican cuando el estudiante debe manipular representaciones espaciales, comparar configuraciones o aplicar el análisis estereoquímico en conceptos dinámicos como una representación (visión) del mecanismo de una reacción orgánica. Lo anterior sugiere la necesidad de fortalecer estrategias didácticas que favorezcan la comprensión tridimensional de las moléculas y la articulación entre representación estructural y comportamiento químico.

En esta misma línea, diversas investigaciones internacionales han documentado que las dificultades asociadas a la estereoquímica no constituyen un fenómeno aislado ni exclusivo de un contexto particular, sino que se relacionan con limitaciones en las habilidades visoespaciales de los estudiantes. Estudios recientes han señalado que el aprendizaje de la estereoquímica exige la manipulación mental de estructuras tridimensionales y la aplicación simultánea de múltiples reglas, lo que incrementa la carga cognitiva y dificulta la transición entre representaciones bidimensionales y tridimensionales (Salame & Kabir, 2022). En particular, se ha evidenciado que la capacidad mental de rotación y visualización espacial constituye un factor determinante en el desempeño académico en esta área, ya que muchos estudiantes presentan dificultades para interpretar fórmulas estructurales, asignar configuraciones absolutas y analizar conformaciones moleculares. Asimismo, investigaciones centradas en el estudio de conformaciones de ciclohexano (Sankar, 2026) y en el uso de representaciones virtuales tridimensionales han mostrado que la orientación espacial suele encontrarse poco desarrollada, afectando la comprensión de la geometría molecular y de las interacciones a nivel submicroscópico (Rahmawati et al., 2021). En conjunto, estos

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

hallazgos refuerzan la idea de que las barreras en estereoquímica se encuentran estrechamente vinculadas a la capacidad de construir y manipular modelos mentales tridimensionales, lo que respalda la necesidad de implementar estrategias didácticas que fortalezcan explícitamente el razonamiento espacial en la enseñanza de la química.

**5.1.2.3. Estrategias y recursos utilizados en la enseñanza.** En relación con las estrategias empleadas por los docentes para la enseñanza de la estereoquímica, los estudiantes señalaron que el recurso más utilizado fueron las presentaciones digitales (PowerPoint, Canva, Prezi, entre otras), con un 89,2%. Le siguieron las explicaciones en el tablero (78,3%) y el uso de modelos moleculares físicos (66,3%). En menor proporción se reportaron la resolución de ejercicios (47%) y los recursos tecnológicos como videos, simuladores o páginas web (31,3%). Un 1,2 % indicó otras estrategias, mencionando específicamente el “*uso de las manos*” como apoyo explicativo. Dado que la pregunta permitía selección múltiple, los porcentajes no son excluyentes entre sí.

Al contrastar estos resultados con la percepción de utilidad de los recursos, se evidencia una diferencia significativa entre frecuencia de uso y efectividad percibida. Aunque las presentaciones digitales fueron el recurso más empleado en el aula, solo el 14,5% de los estudiantes las identificó como el recurso que más favoreció su comprensión del tema. En contraste, los modelos moleculares físicos, reportados como utilizados por el 66,3% de los docentes, fueron considerados el recurso más útil por el 69,9% de los estudiantes. Esta valoración los posiciona como el recurso con mayor impacto percibido en el aprendizaje.

Las explicaciones en el tablero fueron consideradas útiles por el 51,8% de los estudiantes, mientras que la resolución de ejercicios obtuvo un 47%, coincidiendo con su frecuencia de uso. Por su parte, los recursos tecnológicos fueron valorados como útiles por el 32,5%, porcentaje

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

ligeramente superior al reportado en su utilización. Estos resultados ponen de manifiesto que el recurso más empleado no necesariamente coincide con el recurso percibido como más favorecedor del aprendizaje. Particularmente, la alta valoración otorgada a los modelos moleculares físicos resulta coherente con las dificultades previamente identificadas en torno a la visualización espacial y la comprensión tridimensional de las moléculas, lo que sugiere que las estrategias que permiten la manipulación y representación concreta de estructuras podrían desempeñar un papel clave en la superación de tales obstáculos.

Adicionalmente, al contrastar estos hallazgos con la información obtenida en la encuesta aplicada a docentes, se identifica una posible discrepancia en la percepción del uso de los recursos didácticos. Mientras que los docentes manifestaron emplear de manera frecuente y combinada diversos recursos, los porcentajes reportados por los estudiantes no reflejan una utilización homogénea o generalizada de todos ellos.

Esta diferencia puede interpretarse desde distintas perspectivas. Por un lado, podría estar asociada a la variabilidad entre docentes, en la medida en que no todos implementan las mismas estrategias con la misma frecuencia. Por otro, debe considerarse que algunos estudiantes cursaron la asignatura en semestres anteriores, por lo que su percepción podría estar mediada por el tiempo transcurrido o por posibles transformaciones recientes en las prácticas pedagógicas. En cualquier caso, la existencia de percepciones diferenciadas entre docentes y estudiantes no constituye necesariamente una contradicción, sino un elemento analítico relevante que evidencia la complejidad del proceso de enseñanza y la importancia de contrastar múltiples fuentes de información en la interpretación de los resultados.

**5.1.2.4. Claridad, motivación, tiempo y retención del aprendizaje.** Con el propósito de profundizar en la percepción estudiantil sobre la experiencia formativa en estereoquímica, se incluyeron preguntas tipo escala valorativa analizadas mediante el modelo Net Promoter Score (NPS), cuyo valor oscila entre -100 y +100, permitiendo identificar tendencias predominantemente positivas, neutras o negativas.

En cuanto a la claridad de las explicaciones del docente, se obtuvo un NPS de 3,4, mientras que la motivación hacia el aprendizaje del tema presentó un NPS de -4,8. Ambos valores se sitúan cercanos a la neutralidad, lo que indica percepciones relativamente equilibradas, sin una inclinación marcada hacia valoraciones altamente positivas o negativas.

No obstante, los resultados cambian de manera significativa al analizar el tiempo destinado al abordaje del tema y la retención del aprendizaje. El tiempo dedicado a la enseñanza de la estereoquímica presentó un NPS de -42,2, constituyéndose en el indicador más desfavorable de la sección. Por su parte, la retención de los conocimientos obtuvo un NPS de -30,1, lo que evidencia una percepción mayoritariamente negativa respecto a la consolidación de los aprendizajes.

Estos resultados adquieren especial relevancia al contrastarse con la información reportada por los docentes, quienes señalaron destinar entre dos (2) y cuatro (4) semanas, e incluso un corte completo, al desarrollo del tema. La diferencia entre el tiempo declarado y la percepción estudiantil puede interpretarse desde diversas perspectivas. Por un lado, podría estar asociada a la variabilidad entre docentes en cuanto a profundidad, énfasis o estrategias empleadas. Por otro, también puede responder a la percepción de insuficiencia derivada de la complejidad del contenido, considerando que la estereoquímica implica procesos de visualización espacial, análisis estructural y aplicación en reacciones, los cuales demandan tiempo de apropiación progresiva.

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

En cualquier caso, el hecho de que la mayoría de los estudiantes perciba el tiempo como insuficiente y manifieste dificultades en la retención del conocimiento resulta un elemento de atención. Pese a ser lo esperado, que no se conserve la totalidad de los contenidos en el largo plazo, la estereoquímica constituye un fundamento conceptual para asignaturas posteriores como bioquímica y otras áreas donde la estructura tridimensional y la configuración molecular desempeñan un papel central. Por ello, una baja percepción de retención puede sugerir la necesidad de fortalecer metodologías que favorezcan aprendizajes más significativos y duraderos. Estos hallazgos no necesariamente cuestionan el esfuerzo docente, pero sí evidencian una tensión entre el tiempo invertido, la complejidad del contenido y la consolidación del aprendizaje, lo que invita a reflexionar sobre estrategias que permitan optimizar la comprensión y permanencia de los conceptos fundamentales.

**5.1.2.5. Apreciaciones frente al uso de modelos moleculares físicos.** Con el propósito de indagar la disposición de los estudiantes frente a la implementación de modelos moleculares físicos como estrategia didáctica, se formuló una pregunta de respuesta única orientada a identificar si consideran que su uso facilitaría el aprendizaje de la estereoquímica. Los resultados muestran que el 87% de los estudiantes respondió afirmativamente, indicando que el uso de modelos moleculares físicos sí facilitaría la comprensión del tema. Un 13% seleccionó la opción “tal vez”, mientras que ningún estudiante respondió “no” o “no estoy seguro(a)”.

La ausencia total de respuestas negativas resulta especialmente significativa, ya que evidencia que ningún participante percibe los modelos moleculares como un obstáculo o elemento innecesario en el proceso de aprendizaje. Por el contrario, la amplia mayoría manifiesta una apreciación favorable hacia su implementación. Si bien el 13% optó por una postura intermedia, esta no implica un rechazo explícito, sino más bien una apertura condicionada, posiblemente

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

asociada a diferencias en estilos de aprendizaje o a experiencias previas diversas. En este sentido, incluso las respuestas dubitativas no deslegitiman el recurso, sino que reflejan la heterogeneidad propia de los procesos formativos.

Estos resultados adquieren mayor relevancia al considerarse juntamente con los hallazgos previos, los modelos moleculares físicos fueron el recurso mejor valorado en términos de utilidad y, simultáneamente, las principales dificultades identificadas se relacionan con la visualización espacial y la comprensión tridimensional. En consecuencia, la alta aceptación estudiantil frente a su uso no solo respalda su pertinencia pedagógica, sino que sugiere una coherencia entre las necesidades percibidas y la estrategia propuesta.

**5.1.2.6. Valoraciones cualitativas.** Las preguntas abiertas permitieron ampliar las respuestas anteriores, ofreciendo una visión más profunda de la experiencia estudiantil al aprender estereoquímica. A través del análisis de las respuestas, se identificaron tendencias claras sobre lo que los alumnos consideran aciertos de la metodología actual y los obstáculos que impiden un aprendizaje óptimo.

En cuanto a los elementos valorados positivamente, cerca de la mitad de las respuestas (~50%) destacaron el uso de herramientas tridimensionales, como modelos moleculares físicos y simuladores. Los comentarios subrayan que estos recursos funcionan como un apoyo indispensable para el cerebro; por ejemplo, se mencionó que es una buena forma de *"obligar al cerebro a que aprenda a rotar objetos en la cabeza"* y que permite una comprensión real, *"no solo una percepción imaginaria"*. Algunos estudiantes admitieron con sinceridad que *"nuestra mente a veces no sabe imaginar lo que hay detrás de las moléculas"*, validando que la principal fortaleza de la clase es el uso de materiales que compensan esta limitación visual.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Un segundo grupo (~25%) resaltó la labor del docente, valorando la paciencia y la claridad. Sin embargo, este punto revela una debilidad del sistema, los estudiantes mencionan con frecuencia a un solo profesor por su metodología didáctica, lo que indica que la calidad de la enseñanza no es uniforme. Como señaló un estudiante, *"hay que tener en cuenta que es la primera vez que muchos vemos este tipo de cosas"*, sugiriendo que el éxito del estudiante depende en gran medida de la sensibilidad del profesor hacia la complejidad del tema. Finalmente, se valoró la resolución de ejercicios prácticos (~15%) y el uso de analogías reales (~10%), como el caso de la talidomida, que ayuda a entender la importancia ética y profesional de la química.

En la pregunta sobre qué cambios proponer, surge un "pedido de auxilio" pedagógico. El ~55% de los estudiantes insistió en la necesidad de modelos moleculares físicos de **uso individual**. La crítica hacia la falta de recursos fue directa, *"solo había un modelo para 20 estudiantes y no se podía interaccionar"*. Para el estudiantado, la manipulación directa es *"indispensable"* y no puede ser sustituida totalmente por dibujos o explicaciones "teóricas".

El segundo eje más crítico (~20%) fue el factor tiempo. Los estudiantes vinculan su frustración con el diseño del nuevo plan de estudios, señalando que el recorte de horas afecta la profundidad con la que se ve el tema. Se mencionó, por ejemplo, que *"3 horas semanales es muy poco tiempo, además de que estaban divididas en una hora por día"*, lo que impide que el conocimiento se consolide adecuadamente.

Por último, un ~15% propuso mayor uso de software interactivo y un ~10% pidió ejercicios más aplicados a la industria. Un hallazgo crítico fue la denuncia de la falta de coherencia entre docentes, indicando que *"algunos profesores no dictan el tema o lo pasan muy rápido"*. Esto

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

refuerza la necesidad de estandarizar la enseñanza para que el aprendizaje no sea una cuestión de suerte.

Considerando los puntos anteriores, los resultados muestran una alta coherencia interna. Los estudiantes identifican la tridimensionalidad como el núcleo de su aprendizaje y destacan la necesidad de una mayor disponibilidad de modelos físicos, una mejor gestión del tiempo y una metodología uniforme. Sin embargo, más allá de una solicitud general de recursos, emerge de manera explícita la exigencia de que los modelos sean de **uso individual** y no compartido entre múltiples estudiantes, ya que la interacción directa y constante con la estructura molecular se percibe como condición indispensable para desarrollar la habilidad visoespacial. En este sentido, para mejorar la enseñanza de la estereoquímica no basta con la claridad del docente; se requieren condiciones institucionales que garanticen el acceso equitativo a recursos táctiles que permitan a cada estudiante construir y manipular representaciones tridimensionales de manera autónoma en las actividades académicas.

### 5.2. Elaboración de guías y exámenes

#### 5.2.1. Guías para el estudiante

Se diseñaron cuatro (4) guías instructivas dirigidas a los estudiantes, cada una de ellas esencial para la comprensión de la estructura tridimensional y la estereoquímica de las moléculas.

La primera guía constituye una introducción en la que se retoman conceptos básicos de geometría molecular, hibridación y ángulos de enlace. Su propósito principal es reforzar la comprensión de la estructura molecular como fundamento para abordar la estereoquímica. En este caso, la guía presentó una diferencia entre los grupos: mientras que el grupo de control únicamente repasó y reforzó estos conceptos, el grupo experimental además inició un proceso de

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

familiarización con el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales, mediante la construcción adecuada de moléculas (Anexos B1 y B2).

La segunda guía introdujo de manera formal los contenidos de estereoquímica, abordando la quiralidad, los carbonos asimétricos, la configuración absoluta (*R/S*), la presencia de planos de simetría especular interno, así como el concepto de enantiómeros y sus propiedades físicas, especialmente la actividad óptica (Anexo B3).

La tercera guía incorporó el estudio de las proyecciones de Fischer, comúnmente utilizadas en química orgánica y bioquímica cuando las moléculas presentan múltiples centros quirales. A partir de estas proyecciones, los estudiantes realizaron la asignación de configuraciones absolutas *R/S* (Anexo B4). Finalmente, la cuarta guía profundizó en los estereoisómeros, con énfasis en la diferenciación entre enantiómeros y diastereoisómeros, así como en las propiedades físicas que los distinguen (Anexo B5).

En cuanto a su diseño, todas las guías siguieron una estructura uniforme compuesta por cinco apartados complementarios. En primer lugar, se incluyó una introducción que presentó al estudiante el contenido central de la guía, acompañada de la teoría básica necesaria para abordar las actividades propuestas. Posteriormente, se definieron los indicadores de aprendizaje, en los que se precisaron los logros esperados al finalizar la guía; en el caso del grupo experimental, además, se enfatizó la importancia pedagógica del uso de los modelos moleculares físicos tridimensionales como recurso material para el aprendizaje de la química. El tercer apartado correspondió al desarrollo de las actividades principales, diseñadas para promover la comprensión de la estructura tridimensional de las moléculas, ya sea mediante el empleo de modelos moleculares (grupo experimental) o de otros recursos (grupo de control). A continuación, se propusieron actividades de refuerzo orientadas a consolidar los conceptos trabajados en cada guía. Finalmente, se incorporó

## *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

un apartado de bibliografía y recursos adicionales, en el que se recomendaron libros, páginas web y aplicaciones digitales que permitieran a los estudiantes complementar su aprendizaje a través de la visualización y representación de moléculas en dos y tres dimensiones.

### **5.2.2. *Guía para el docente***

Se elaboró una guía docente que sintetizó el contenido de las guías entregadas a los estudiantes, con el fin de orientar el trabajo pedagógico durante su aplicación. Esta guía incluyó una justificación del proyecto, donde se expuso la pertinencia de la propuesta y su aporte a la enseñanza de la estereoquímica. También integró los indicadores de aprendizaje, que permitieron al docente evaluar el logro de los objetivos planteados en cada actividad. Adicionalmente, se incorporaron sugerencias metodológicas para la interacción con los estudiantes, orientadas a fortalecer su motivación y participación activa en el proceso de aprendizaje. Finalmente, se incluyeron las soluciones y respuestas a las actividades propuestas en las guías estudiantiles, presentadas en color azul, con el fin de facilitar el acompañamiento, la retroalimentación y la verificación de los avances obtenidos por los estudiantes (Anexo C).

### **5.2.3. *Examen diagnóstico***

Se diseñaron cuatro (4) exámenes diagnósticos con el propósito de evaluar las competencias fundamentales en el tema de estereoquímica. Cada examen estuvo conformado por cinco (5) preguntas, distribuidas de acuerdo con las habilidades que se buscaba valorar. La primera de ellas se centró en la identificación y determinación de la configuración absoluta (*R/S*) de carbonos quirales; la segunda evaluó la representación gráfica de moléculas, exigiendo un dibujo correcto acompañado de los descriptores estereoquímicos adecuados; la tercera correspondió a la transformación entre diferentes tipos de representaciones, específicamente de modelos en cuñas a proyecciones de Fischer o viceversa; la cuarta abordó la identificación de la relación existente entre

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

pares de moléculas, determinando si correspondían al mismo compuesto, isómeros estructurales, enantiómeros o diastereoisómeros; y la quinta interrogó acerca de las propiedades físicas de un par de enantiómeros o de diastereoisómeros. Aunque los cuatro (4) exámenes conservaron esta misma estructura de cinco preguntas, variaron tanto en el orden de presentación como en las moléculas utilizadas, con el fin de garantizar la validez de la evaluación y evitar la memorización mecánica de las respuestas (Apéndice C).

Adicionalmente, se elaboró un examen en el Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [plataforma Moodle 4.4], compuesto por cinco (5) preguntas de selección múltiple con única respuesta, generadas de manera aleatoria a partir de un banco de preguntas construido con base en una recopilación de la guía de estudio de química orgánica de la división de educación de la *American Chemical Society* (ACS) (Eubanks & Eubanks, 2002). Este banco 30 de ítems es ampliamente utilizado como referente para la evaluación de conocimientos en química orgánica a nivel universitario, ya que permite valorar la comprensión conceptual de los estudiantes en distintos contenidos, incluida la estereoquímica. La selección de estas preguntas permitió contrastar el desempeño de los estudiantes frente a ítems estandarizados y alineados con los objetivos del curso, así como evaluar su nivel de apropiación conceptual a lo largo de la intervención.

#### **5.2.4. Examen parcial I**

Se diseñaron cuatro (4) exámenes parciales con el objetivo de evaluar los conceptos abordados en las Guías I y II, verificando el grado de comprensión y aplicación de los contenidos relacionados con la estereoquímica. Estos exámenes buscaron que los estudiantes pusieran en práctica sus habilidades en la representación bidimensional y tridimensional de las moléculas, la identificación de carbonos asimétricos y la asignación de su configuración absoluta (*R/S*), así como el reconocimiento de las diferencias en las propiedades físicas de los enantiómeros.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Cada examen estuvo conformado por cinco (5) preguntas, diseñadas para evaluar de manera integral las competencias de los estudiantes. La primera pregunta estuvo orientada a la identificación de los átomos de carbono asimétricos presentes en una molécula; la segunda a la determinación de la configuración absoluta (*R/S*) de dichos carbonos; la tercera evaluó la capacidad de representar gráficamente una molécula, incluyendo los descriptores estereoquímicos correctos; la cuarta midió la habilidad para nombrar correctamente una molécula de acuerdo con la nomenclatura de la IUPAC; y la quinta examinó la comprensión de las propiedades físicas de los enantiómeros, estableciendo si estas son iguales o diferentes. De manera similar que el examen diagnóstico, los cuatro (4) exámenes conservaron esta misma estructura de cinco preguntas, variaron tanto en el orden de presentación como en las moléculas utilizadas, con el fin de garantizar la validez de la evaluación y evitar la memorización mecánica de las respuestas (Apéndice D).

Adicionalmente, se elaboró un examen en el Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [plataforma Moodle 4.4], compuesto por cinco (5) preguntas de selección múltiple con única respuesta, generadas de manera aleatoria a partir de un banco de preguntas construido con base en la guía de estudio de química orgánica (Eubanks & Eubanks, 2002), previamente descrita.

### 5.2.5. Examen parcial II

Se diseñaron cuatro (4) exámenes parciales con el propósito de evaluar los conocimientos y competencias adquiridas por los estudiantes tras el desarrollo de las Guías III y IV. Estos instrumentos de evaluación tuvieron como objetivo principal que los estudiantes aplicaran de manera práctica sus habilidades en la representación bidimensional y tridimensional de moléculas orgánicas, el uso de proyecciones de Fischer, la asignación de configuraciones absolutas (*R/S*), así como la identificación y diferenciación de diastereoisómeros y enantiómeros a partir de sus propiedades físicas.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Cada examen estuvo conformado por cuatro (4) preguntas diseñadas para valorar integralmente las competencias específicas del tema de estereoquímica. La primera pregunta se enfocó en la transformación de una proyección de Fischer a una representación tridimensional en perspectiva mediante cuñas, con el fin de evaluar la capacidad de interpretar y representar correctamente las estructuras moleculares. La segunda pregunta planteó el proceso inverso, de una fórmula en perspectiva con cuñas a una proyección de Fischer, para verificar la comprensión bidireccional de ambas representaciones. La tercera pregunta abordó la identificación de pares de moléculas, requiriendo que el estudiante determinara si correspondían al mismo compuesto, a isómeros constitucionales, a enantiómeros o a diastereoisómeros. Finalmente, la cuarta pregunta tuvo un enfoque aplicado, orientado a identificar cuál de un par de moléculas podría separarse mediante destilación o recristalización, evaluando así la comprensión de las diferencias en las propiedades físicas de enantiómeros y diastereoisómeros.

Aunque los cuatro exámenes mantuvieron esta misma estructura de cuatro (4) preguntas, como en los exámenes anteriores se modificó el orden de estas con el propósito de garantizar la validez de la evaluación y reducir el sesgo asociado a la memorización mecánica de las respuestas (Apéndice E).

Adicionalmente, también se elaboró un examen complementario en el Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [sitio web Moodle 4.4], compuesto por cinco (5) preguntas de selección múltiple con única respuesta. Estas preguntas también fueron generadas aleatoriamente a partir del banco de preguntas elaborado con base en la recopilación de Eubanks & Eubanks (2002), previamente descrito.

**5.2.6. Exámenes acumulativos**

En continuidad con las estrategias de evaluación implementadas en las etapas anteriores del estudio, se diseñaron ocho (8) exámenes acumulativos con el propósito de valorar los conocimientos, habilidades y competencias adquiridas por los estudiantes tras el desarrollo de las cuatro (4) guías propuestas. Estos instrumentos buscaron medir nuevamente la aplicación práctica de los conceptos abordados, especialmente aquellos relacionados con la representación tridimensional de las moléculas, la configuración absoluta (*R/S*), la identificación de enantiómeros y diastereoisómeros, así como la comprensión de sus propiedades físicas.

La estructura de los exámenes mantuvo el mismo formato del examen diagnóstico inicial; no obstante, se modificaron las moléculas y los contextos de las preguntas con el fin de evaluar la transferencia del conocimiento y evitar la memorización mecánica de respuestas. De los ocho exámenes acumulativos, cuatro (4) se realizaron sin el uso de modelos moleculares físicos tridimensionales, permitiendo evaluar el nivel de comprensión conceptual alcanzado únicamente a través de las representaciones bidimensionales (Apéndice F). Los otros cuatro (4) exámenes se desarrollaron utilizando modelos moleculares físicos tridimensionales, con el objetivo de reforzar y analizar el impacto de la manipulación directa de estructuras en la comprensión espacial y estereoquímica de los compuestos (Apéndice G).

Adicionalmente, como en los casos anteriores, se elaboró un examen complementario en el Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [plataforma Moodle 4.4], compuesto por cinco (5) preguntas de selección múltiple con única respuesta, generadas aleatoriamente a partir del banco de preguntas, previamente descrito.

### 5.3. Aplicación y análisis del estudio

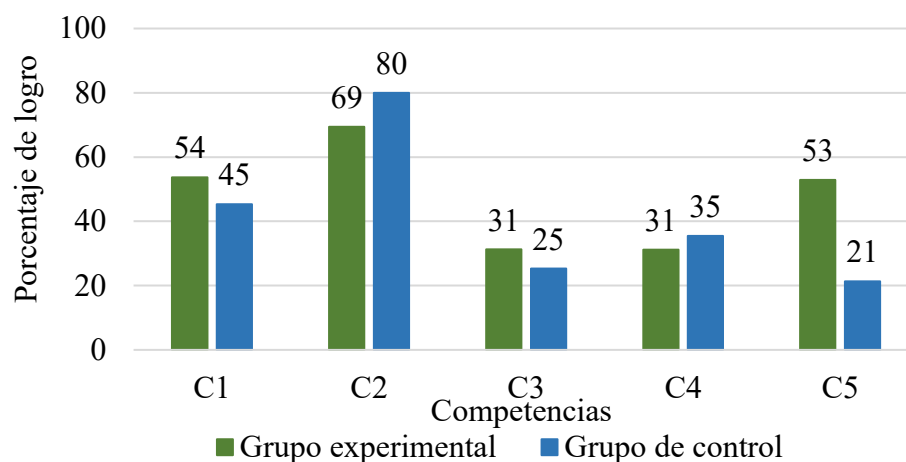
Se realizó un análisis de resultados a partir de un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos con el propósito de obtener una comprensión más amplia y profunda del fenómeno estudiado. En la fase cuantitativa se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, incluyendo pruebas de normalidad, homogeneidad de varianzas y comparaciones mediante la prueba *t de Student*, con el fin de analizar el desempeño académico de los estudiantes, identificar tendencias de aprendizaje y establecer comparaciones entre los grupos de estudio bajo las distintas condiciones de evaluación. Estos análisis permitieron valorar el nivel de logro de las competencias evaluadas y explorar posibles factores asociados a los resultados obtenidos.

De manera complementaria, se desarrolló un análisis cualitativo basado en la información registrada durante el proceso de intervención y en las encuestas de satisfacción aplicadas a los estudiantes, el cual fue organizado a partir de categorías de análisis previamente definidas. Este enfoque permitió examinar las percepciones, actitudes, experiencias y dinámicas observadas a lo largo de las sesiones, aportando una visión contextualizada del proceso de enseñanza y aprendizaje. La integración de ambos enfoques metodológicos permitió, no solo evaluar los efectos de la intervención en términos de desempeño académico, sino también profundizar en los procesos que influyen en dichos resultados, ampliando la comprensión del fenómeno estudiado y enriqueciendo la interpretación global del análisis.

## 5.3.1. Análisis de resultados del examen diagnóstico

Figura 23

Porcentaje de logro o aciertos en cada una de las competencias en el examen diagnóstico escrito en ambos grupos (Anexo D)



*Nota.* C1 (Competencia 1): Identificación de los átomos de carbono asimétricos y asignación de su configuración absoluta (*R/S*). C2 (Competencia 2): Representación gráfica de las moléculas, incorporando correctamente los descriptores estereoquímicos. C3 (Competencia 3): Transformación entre diferentes tipos de representaciones moleculares, pasando de modelos en cuñas a proyecciones de Fischer o viceversa. C4 (Competencia 4): Identificación de la relación existente entre pares de moléculas, determinando si corresponden al mismo compuesto, a isómeros estructurales, enantiómeros o diastereoisómeros. C5 (Competencia 5): Reconocimiento de las propiedades físicas de un par de enantiómeros o diastereoisómeros, estableciendo similitudes o diferencias entre ellas. Los resultados obtenidos en cada una de estas competencias fueron evaluados de acuerdo con los criterios de evaluación previamente establecidos (Apéndice C), lo que permitió garantizar la objetividad y la coherencia en la valoración del desempeño de los estudiantes.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

De manera general, se evidencia que en todas las competencias evaluadas los estudiantes del grupo experimental presentan falencias significativas, dado que el nivel máximo de logro alcanzado corresponde al 69%. La competencia con mejor desempeño es la C2, mientras que las competencias C1 y C5 muestran logros moderados, con valores entre el 53% y el 54%.

Las competencias que requieren mayor atención son la C3 y la C4. La C3, relacionada con el manejo e interpretación de proyecciones de Fischer, y la C4, vinculada con la identificación de la relación existente entre pares de moléculas, presentan porcentajes de logro inferiores al 31%. Estos resultados sugieren que los estudiantes presentan dificultades notorias en la visualización espacial y en la representación bidimensional de estructuras moleculares, habilidades fundamentales para la comprensión de los conceptos de estereoquímica. Asimismo, reflejan un conocimiento previo limitado en la aplicación de conceptos básicos y en la resolución de problemas asociados con esta temática.

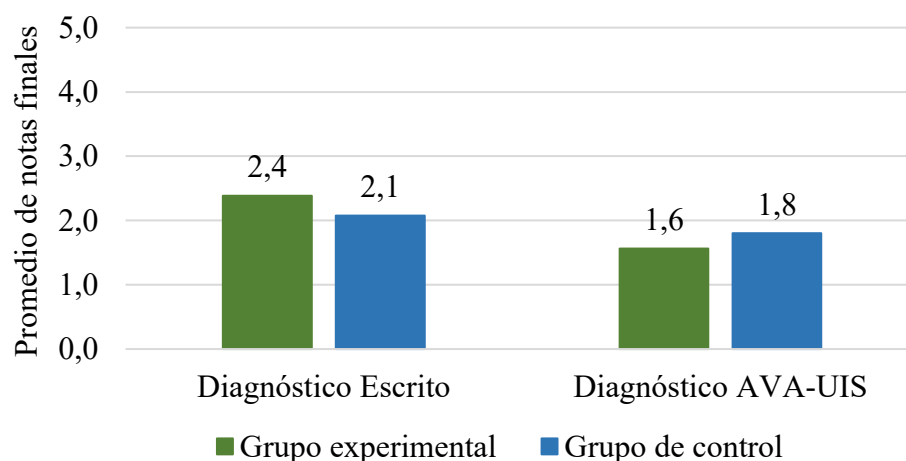
En el grupo de control se observa un patrón similar al del grupo experimental, aunque con una mayor dispersión en los resultados. La competencia C2 alcanza el mayor porcentaje de logro, con aproximadamente un 80%, lo que evidencia un mejor desempeño en comparación con el grupo experimental. En contraste, la competencia C5 presenta el rendimiento más bajo, con un porcentaje inferior al 21%, lo que indica dificultades en la identificación de enantiómeros y diastereoisómeros, así como un conocimiento insuficiente sobre las diferencias en sus propiedades físicas. A pesar de que la competencia C5 representa la menor puntuación general, la competencia C3 continúa siendo la principal dificultad en ambos grupos, con un porcentaje de logro inferior al 25% en el grupo de control. Finalmente, las competencias C1 y C4 presentan resultados moderadamente bajos, entre el 35% y el 45%, lo cual sugiere la necesidad de reforzar estos aspectos desde el componente didáctico y pedagógico.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Al comparar ambos grupos, se aprecia que el grupo experimental presenta un desempeño más homogéneo entre las competencias, mientras que el grupo de control muestra una mayor brecha entre la competencia con mayor logro (C2) y la de menor (C5). Estos resultados sugieren que, si bien ambos grupos requieren un refuerzo en las competencias relacionadas con la visualización espacial y las proyecciones de Fischer, el grupo de control podría beneficiarse de estrategias que reduzcan la disparidad entre las competencias, mientras que el grupo experimental debería priorizar el fortalecimiento de la C4 para equilibrar su desempeño global.

### Figura 24

*Notas promedio de los exámenes diagnósticos escritos y a través del Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [Moodle.4.4] del grupo experimental y el grupo de control (Anexo D y Anexo H)*



*Nota general.* Los resultados obtenidos en los exámenes aplicados a través del Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [plataforma Moodle 4.4] no pudieron ser desagregados por competencias específicas, debido a que se determinó que el sistema seleccionara de manera aleatoria cinco (5) preguntas de un banco de preguntas previamente diseñado. Si bien esta característica limitó el análisis individual por competencia, también aseguró la aleatoriedad de los ítems y minimizó el

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

sesgo asociado a la posibilidad de respuestas copiadas entre estudiantes, contribuyendo así a la validez y confiabilidad de la evaluación.

La **Figura 24** muestra la comparación de los promedios obtenidos por los estudiantes del grupo experimental y el grupo de control en los exámenes diagnósticos, aplicados en dos formatos diferentes: escrito y virtual (AVA-UIS).

En el diagnóstico escrito, ambos grupos obtuvieron puntajes relativamente bajos; sin embargo, el grupo experimental alcanzó un promedio ligeramente superior al del grupo de control (2,4 y 2,1; respectivamente). Por otro lado, en el diagnóstico realizado mediante el Aula Virtual de Aprendizaje-UIS [plataforma Moodle], se evidencia una disminución general en el desempeño de ambos grupos, siendo esta más notoria en el grupo experimental (1,6 frente a 1,8 en el grupo de control). Las diferencias entre los dos grupos estuvieron entre el 5 a 6%.

Esta tendencia sugiere que el formato de evaluación pudo haber influido en los resultados. Factores como la familiaridad con la plataforma virtual, la interpretación de las preguntas en formato digital, o las condiciones propias de la aplicación virtual (tiempo de duración del examen 10 minutos, uso del teléfono de cada estudiante para realizar la prueba, etc.) podrían haber afectado el rendimiento de los estudiantes. En términos generales, la **Figura 24** muestra que, independientemente del grupo, el rendimiento fue menor en el entorno virtual, lo que podría indicar una dificultad adicional asociada al tipo de examen, más que a diferencias en los niveles de conocimiento entre los grupos.

Este comportamiento respalda la suposición de que ambos grupos partieron de un nivel de conocimiento inicial igual, aspecto fundamental para garantizar la validez del análisis posterior sobre el efecto del uso de modelos moleculares tridimensionales en el grupo experimental.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Para evaluar si la implementación de la metodología de enseñanza empleando modelos moleculares físicos tridimensionales produjo un cambio significativo en el aprendizaje de los estudiantes, fue necesario emplear una prueba estadística de comparación de medias entre grupos, en este caso, la prueba *t de Student* para muestras independientes, dado que se compararon los resultados del grupo experimental y del grupo de control.

Sin embargo, antes de aplicar esta prueba es fundamental verificar que los datos cumplan con tres supuestos estadísticos: normalidad de los datos, homogeneidad de varianzas, e independencia de las observaciones.

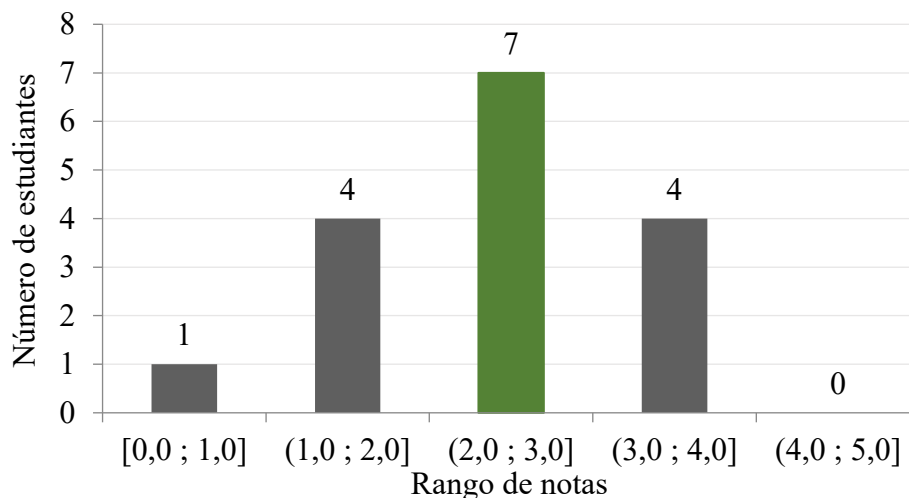
Para comprobar el primer supuesto, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk, recomendada cuando el tamaño de la muestra es inferior a 50 individuos (Huaroc Ponce et al., 2024). En este estudio, participaron 16 estudiantes en el grupo experimental y 15 en el grupo de control, para un total de 31 estudiantes. La prueba se ejecutó mediante las herramientas disponibles en la página web *Statistics Kingdom*\*, utilizando un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0,05. Este nivel se seleccionó de manera intencionalmente estricta con el fin de minimizar la probabilidad de cometer un error tipo I, es decir, rechazar la hipótesis de normalidad cuando los datos en realidad siguen una distribución normal (RONALD A. FISCHER, 1958).

Los resultados obtenidos para el grupo experimental evidenciaron que no existieron desviaciones significativas respecto a la normalidad, ya que en ambos casos los valores de  $p$  superaron el nivel de significancia adoptado ( $\alpha = 0,05$ ). De manera específica, para el examen diagnóstico escrito se obtuvo  $p = 0,8129$ , mientras que para el examen diagnóstico aplicado en AVA-UIS se obtuvo  $p = 0,07289$ . Con base en estos hallazgos, se concluye que los datos de ambos grupos se ajustan a una distribución normal, lo que justifica la utilización de pruebas paramétricas para el análisis estadístico posterior.

\* <https://www.statskingdom.com/shapiro-wilk-test-calculator.html>

**Figura 25**

*Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico escrito en el grupo experimental*



*Nota.* Autoría propia. Los corchetes indican inclusión del valor límite y los paréntesis exclusión del valor límite.

El histograma correspondiente al examen diagnóstico del grupo experimental muestra que la mayor concentración de estudiantes se encuentra en el rango de calificaciones (2,0;3,0], con un total de siete (7) participantes ubicados en este intervalo. Este resultado indica que, en términos generales, el nivel de conocimientos previos del grupo se sitúa en un rango bajo a medio.

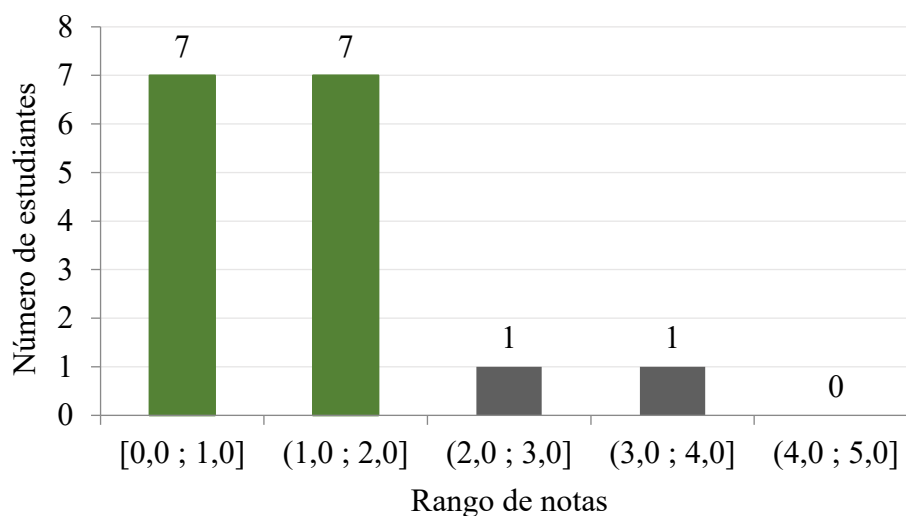
Las calificaciones se distribuyen principalmente entre 0,0 y 3,0; lo que refleja una dispersión moderada en el desempeño. La presencia de estudiantes con notas tanto inferiores a 1,0 como superiores a 3,0 evidencia una heterogeneidad en el dominio de los contenidos evaluados, mostrando diferencias individuales en la comprensión de los temas abordados en la prueba diagnóstica.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

En cuanto a la forma de la distribución, se observa un patrón ligeramente concentrado hacia los valores intermedios, sin valores atípicos extremos que puedan sesgar de manera significativa el análisis. En conjunto, estos resultados sugieren que el grupo experimental presenta un conocimiento previo desigual, lo que justifica la implementación de estrategias pedagógicas complementarias, como el uso de modelos moleculares tridimensionales, con el fin de promover una nivelación conceptual y mejorar el rendimiento en evaluaciones posteriores.

### Figura 26

*Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico a través del AVA-UIS en el grupo experimental*



*Nota.* Autoría propia.

El histograma correspondiente a las calificaciones del examen diagnóstico virtual del grupo experimental revela una marcada concentración de resultados en los intervalos  $[0,0;1,0]$  y  $(1,0;2,0]$ , cada uno con siete (7) estudiantes. Esta acumulación evidencia que el rendimiento del grupo se sitúa predominantemente en los niveles más bajos de la escala, configurando una tendencia central

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

próxima a 1,0. La presencia de valores consecutivos elevados en estos rangos sugiere, además, una distribución compacta y con escasa variabilidad en la zona inferior del desempeño.

En los intervalos superiores se observa una participación marginal, únicamente un (1) estudiante se ubicó en (2,0;3,0], otro en (3,0;4,0], y no se registraron observaciones en el rango (4,0;5,0]. La ausencia de valores altos confirma que no se identifican desempeños sobresalientes y que la distribución permanece sesgada hacia los niveles de menor logro. Cabe señalar que, a diferencia de la modalidad escrita, este formato de evaluación admite exclusivamente valores enteros (0, 1, 2, 3, 4, 5), lo cual genera una distribución discreta y favorece la repetición de puntuaciones.

La distribución no presenta valores atípicos ni evidencia una dispersión considerable, lo que indica una mayor homogeneidad interna en los resultados. Este comportamiento podría estar asociado a las características de la plataforma virtual utilizada, la cual restringe los tipos de respuesta y las posibilidades de retroalimentación, disminuyendo la sensibilidad de la evaluación para discriminar entre distintos niveles de dominio conceptual. En conjunto, estos hallazgos subrayan la necesidad de fortalecer las estrategias didácticas con el fin de propiciar un progreso más consistente en el desarrollo de las competencias evaluadas.

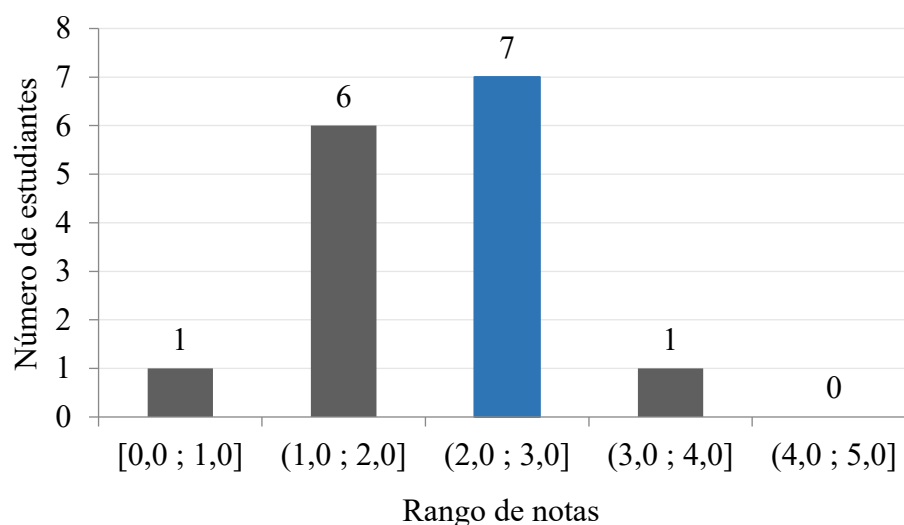
De manera análoga, se evaluó la normalidad de los datos correspondientes al grupo de control, aplicando nuevamente la prueba de Shapiro–Wilk, herramienta disponible en el sitio web *Statistics Kingdom* y manteniendo el mismo nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ). Los resultados obtenidos mostraron un valor de  $p = 0,2822$  para el examen escrito y  $p = 0,1408$  para el examen realizado en el AVA-UIS. Dado que ambos valores de  $p$  superaron el nivel de significancia establecido, se concluyó que los datos del grupo de control también se ajustan a una distribución

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

normal, lo que confirma la idoneidad de utilizar pruebas paramétricas para el análisis estadístico comparativo entre grupos.

### Figura 27

*Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico escrito en el grupo de control*



*Nota.* Autoría propia.

El histograma correspondiente al examen diagnóstico del grupo de control muestra que la mayor concentración de estudiantes se encuentra en el rango de calificaciones (2,0;3,0], con un total de siete (7) participantes en este intervalo. Este comportamiento indica que la mayoría de los estudiantes alcanzó un nivel de desempeño bajo a medio, similar al observado en el grupo experimental.

Las calificaciones se distribuyen principalmente entre 0,0 y 3,0; lo que sugiere una dispersión moderada de los resultados y un conocimiento previo limitado en los contenidos evaluados. La presencia de algunos estudiantes con notas cercanas al mínimo marcado en 1,0 y solo uno con una calificación superior a 3,0 evidencia una asimetría hacia la izquierda y una tendencia general hacia

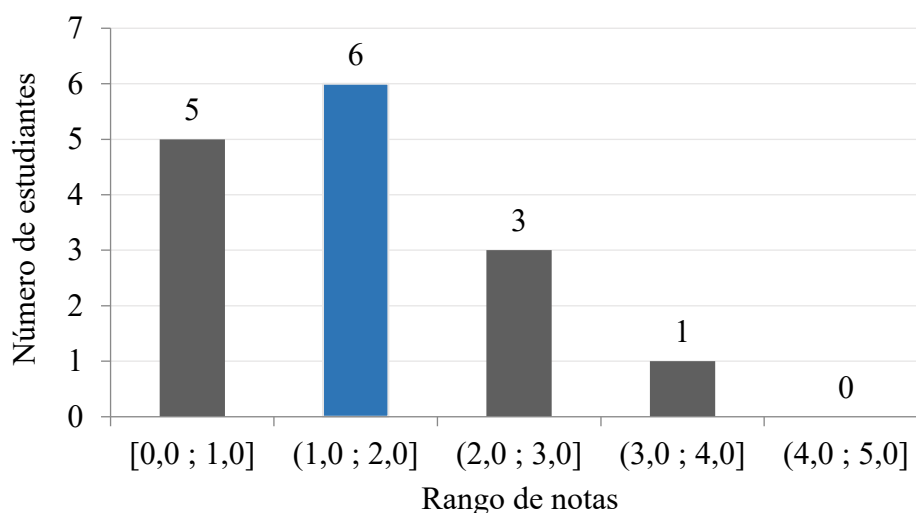
*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

los valores bajos, lo que refleja un dominio insuficiente de los conceptos iniciales de estereoquímica.

En términos generales, no se identifican valores atípicos extremos que afecten el análisis global, aunque la concentración de resultados en los rangos inferiores pone de manifiesto la necesidad de reforzar los conocimientos previos y de implementar estrategias de enseñanza más activas que contribuyan a mejorar la comprensión conceptual y el desempeño académico del grupo.

**Figura 28**

*Distribución de los datos obtenidos en el examen diagnóstico a través del AVA-UIS en el grupo de control*



*Nota.* Autoría propia.

Cuando se analizan los resultados en la modalidad virtual del AVA-UIS para el grupo de control, se mantiene la tendencia observada en la prueba escrita: la mayor concentración de estudiantes se encuentra en 2,0 (seis estudiantes), lo que confirma la tendencia general de bajo desempeño inicial. Sin embargo, se observa una ligera dispersión hacia rangos de notas más altas (3 estudiantes con 3,0 e incluso 1 estudiante con 4,0), lo que indica que varios estudiantes se

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

desempeñaron mejor en la evaluación virtual que en la escrita. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de homogeneidad de varianzas, correspondiente al segundo supuesto necesario para la aplicación de la prueba *t de Student*, cuyo objetivo es verificar si las varianzas de los grupos comparados son estadísticamente iguales. Esta prueba también se realizó mediante las herramientas disponibles en la página web *Statistics Kingdom\**, utilizando un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0,05, el mismo empleado previamente en la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Para ello, se aplicó la prueba de Levene a los datos obtenidos en el examen diagnóstico escrito y en el examen diagnóstico virtual realizado a través del AVA-UIS de ambos grupos. En el examen escrito, la prueba arrojó un valor de  $F = 0,1649$  y una  $p = 0,6877$ , mientras que para el examen virtual se obtuvo  $F = 0,0742$  y  $p = 0,7872$ . En ambos casos, el valor de  $p$  es mayor que el nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0,05$ ), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los grupos, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas y se cumple el supuesto necesario para la aplicación de la prueba *t de Student*.

Los valores bajos del estadístico  $F$  obtenidos en ambas pruebas indican que las diferencias entre las varianzas de los grupos son mínimas, lo cual respalda el cumplimiento del supuesto de homogeneidad necesario para aplicar la prueba *t de Student*. Con esta condición verificada, se procedió a comparar el desempeño inicial de los dos grupos mediante una prueba *t de Student* para muestras independientes con varianzas agrupadas, estableciendo un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Esta prueba también se realizó mediante las herramientas disponibles en la página web *Statistics Kingdom\*\**.

\* [https://www.statskingdom.com/230var\\_levenes.html](https://www.statskingdom.com/230var_levenes.html)

\*\* <https://www.statskingdom.com/140MeanT2eq.html>

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

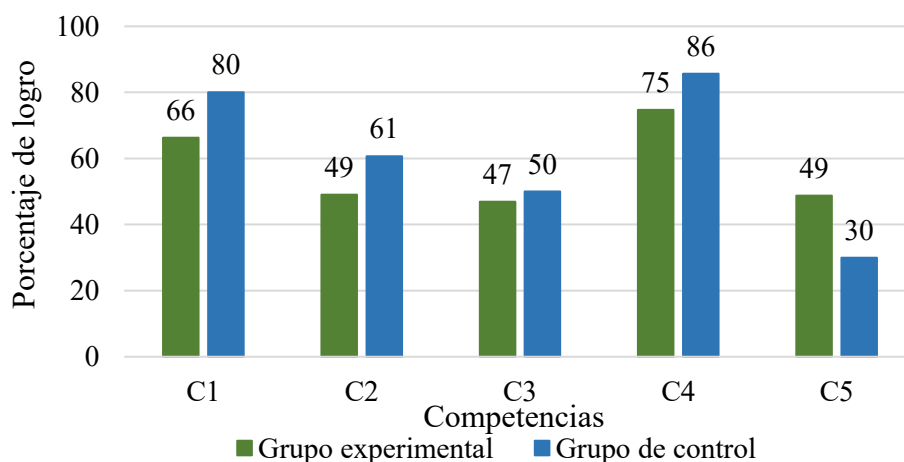
Los resultados muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los dos grupos. El valor  $p$  obtenido fue 0,3104, el cual es ampliamente superior al nivel de significancia seleccionado, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que las diferencias observadas entre los grupos pueden atribuirse al azar y no a un efecto real o sistemático.

El estadístico obtenido fue  $t = 1,0324$ , que se encuentra dentro del intervalo de aceptación para el 95% de confianza (-2,0452 a 2,0452). Este resultado confirma que no se identifican diferencias significativas entre los grupos en el examen diagnóstico escrito. En conjunto, los resultados evidencian que ambos grupos iniciaron con niveles de conocimiento equivalentes, aspecto fundamental para garantizar condiciones comparables en las etapas posteriores del estudio.

#### 5.3.2. Análisis de resultados del examen parcial I

##### Figura 29

Porcentaje de logro o aciertos en cada una de las competencias en el examen parcial I escrito para ambos grupos (experimental y control) (Anexo E)



*Nota.* C1 (Competencia 1): Identificación de los átomos de carbono asimétricos presentes en una molécula. C2 (Competencia 2): Determinación de la configuración absoluta ( $R/S$ ) de los carbonos

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

asimétricos identificados. C3 (Competencia 3): Asignación del nombre correcto a una molécula de acuerdo con las reglas de nomenclatura establecidas por la IUPAC. C4 (Competencia 4): Representación gráfica de las moléculas, incorporando correctamente los descriptores estereoquímicos. C5 (Competencia 5): Comprensión de las propiedades físicas de los enantiómeros, determinando si presentan similitudes o diferencias entre ellas. Los resultados obtenidos en cada una de estas competencias fueron evaluados conforme a los criterios de valoración previamente establecidos (Apéndice D), garantizando la objetividad y coherencia en la evaluación del desempeño estudiantil.

De manera general, se observa que en las competencias evaluadas los estudiantes del grupo experimental presentan niveles de logro variables, con porcentajes que oscilan entre el 47% y el 75%. La competencia con mejor desempeño corresponde a la C4, relacionada con la representación gráfica de las moléculas incorporando correctamente los descriptores estereoquímicos, en la cual los estudiantes alcanzaron aproximadamente un 75% de logro, evidenciando un manejo adecuado en la ilustración de moléculas estereoespecíficas.

La competencia C1 presenta un nivel de logro moderado, cercano al 66%, lo que indica que los estudiantes poseen una comprensión básica de los principios de identificación de carbonos asimétricos, aunque aún requieren fortalecer la aplicación de criterios espaciales en moléculas más complejas.

En las competencias C2, C3 y C5 se observan porcentajes de logro cercanos al 49%, 47% y 49%, respectivamente. Estos resultados evidencian dificultades persistentes en la asignación de la configuración absoluta, en la visualización tridimensional, en la aplicación de la nomenclatura

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

establecida por la IUPAC, así como en la comprensión de las diferencias en las propiedades físicas de los enantiómeros.

En el grupo de control, los resultados muestran un patrón similar, aunque con porcentajes generalmente **más altos**. La C4 alcanza aproximadamente un 86%, constituyéndose como la competencia con mayor nivel de logro. Le siguen la C1 (80%) y la C2 (61%), lo que refleja un dominio más sólido en las habilidades de identificación y asignación de la configuración absoluta. La C3 presenta un logro del 50%, confirmando la existencia de dificultades en la nomenclatura de estereoisómeros, mientras que la C5, con un 30% de logro, requiere especial atención, dado que evidencia un bajo nivel de comprensión sobre las propiedades físicas y su relación con la estereoquímica.

Al comparar ambos grupos, se aprecia que el grupo de control presenta **mayores** porcentajes de logro en la mayoría de las competencias (C1, C2, C3 y C4), mientras que el grupo experimental muestra un mejor desempeño en la comprensión aplicada (C5). Estos resultados sugieren que el recurso didáctico implementado favoreció parcialmente la interpretación conceptual de las propiedades estereoquímicas, aunque persiste la necesidad de reforzar la visualización espacial (C3) y la aplicación práctica de los criterios de configuración (C2) para consolidar un aprendizaje más integral.

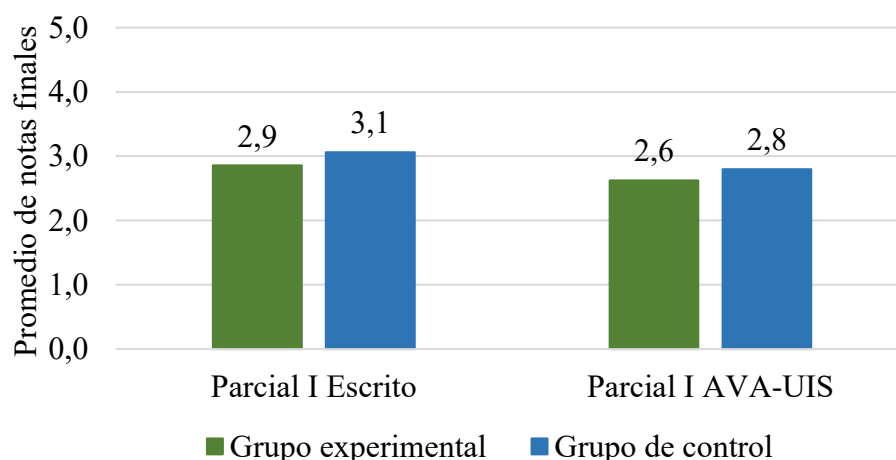
Además, se evidencia en ambos grupos que, a pesar de la relación existente entre las competencias C3 y C4, se presenta una diferencia notable en los niveles de logro. La C3, que implica asignar el nombre apropiado a una molécula con carbonos quirales según la nomenclatura de la IUPAC, presenta porcentajes inferiores (47–50%) en comparación con la C4 (75–86%), que corresponde a representar gráficamente una molécula a partir de su nombre e incorporando los

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

descriptores estereoquímicos. Esto sugiere que a los estudiantes se les facilita interpretar o leer y representar el nombre de una molécula, pero no lo contrario, a partir de una representación molecular nombrarla correctamente, lo que pone de manifiesto una asimetría en el dominio de las competencias de interpretación y producción en el contexto de la estereoquímica.

**Figura 30**

*Notas promedio de los exámenes parciales I escritos y a través del AVA-UIS, para el grupo experimental y el grupo de control (Anexo E y Anexo H)*



*Nota.* Las condiciones de aplicación y selección de ítems en el AVA-UIS se describen en la Nota general (ver **Figura 24** en la página 99).

En la **Figura 30** se presentan los promedios obtenidos por los estudiantes del grupo experimental y del grupo de control en el primer examen parcial, aplicado en dos formatos diferentes: escrito y virtual (AVA-UIS). En términos generales, ambos grupos alcanzaron promedios similares, cercanos a 2,7 y 2,9 sobre 5,0, lo que indica un rendimiento académico equivalente independientemente del formato de evaluación.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

En el examen parcial escrito, el grupo de control obtuvo un promedio ligeramente superior al del grupo experimental, lo cual podría atribuirse a una mayor familiaridad con el formato tradicional de evaluación o a una mayor seguridad al resolver preguntas de desarrollo sobre el papel. No obstante, la diferencia observada es mínima (~4%) y no representa una variación significativa en el desempeño global.

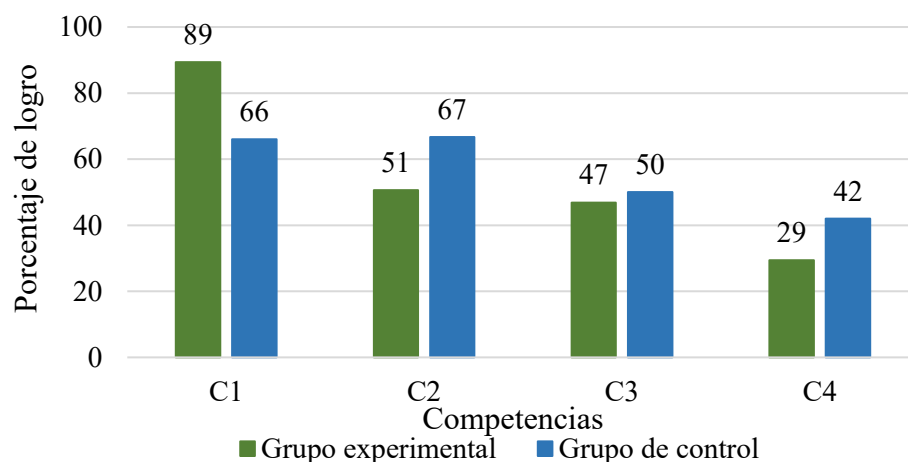
Por otro lado, en el parcial aplicado en el AVA-UIS, se mantiene la tendencia de resultados similares entre los grupos, aunque el grupo de control presenta un promedio marginalmente más pequeño (~3%). Esto sugiere que la modalidad virtual no afectó de manera considerable el desempeño estudiantil, y que ambos grupos lograron adaptarse adecuadamente al entorno digital de evaluación.

En conjunto, los resultados permiten concluir que no existen diferencias significativas en el rendimiento promedio entre el grupo experimental y el grupo de control en el primer parcial, tanto en el formato escrito como en el virtual. Esto indica que, hasta esta etapa, el uso del recurso didáctico innovador en el grupo experimental no generó un impacto cuantitativo notable en las calificaciones, aunque podría estar favoreciendo otros aspectos cualitativos del aprendizaje, como la comprensión conceptual o la visualización espacial, que se evidencian en las competencias específicas analizadas posteriormente.

## 5.3.3. Análisis de resultados del examen parcial II

**Figura 31**

Porcentaje de logro en cada una de las competencias en el examen parcial II escrito, en ambos grupos (experimental y control) (Anexo F)



*Nota.* C1 (Competencia 1): Transformación de una proyección de Fischer a una representación tridimensional en perspectiva mediante cuñas, evaluando la capacidad de interpretar y representar correctamente las estructuras moleculares. C2 (Competencia 2): Conversión de una representación tridimensional con cuñas a una proyección de Fischer, con el propósito de verificar la comprensión bidireccional de ambas formas de representación. C3 (Competencia 3): Identificación de pares de moléculas, determinando si corresponden al mismo compuesto, a isómeros constitucionales, enantiómeros o diastereoisómeros. C4 (Competencia 4): Reconocimiento del método adecuado de separación (destilación o recristalización) entre un par de moléculas, evaluando la comprensión de las diferencias en las propiedades físicas de enantiómeros y diastereoisómeros. Los resultados obtenidos en cada una de estas competencias fueron evaluados de acuerdo con los criterios de valoración previamente establecidos (Apéndice E), garantizando la objetividad y coherencia en la evaluación del desempeño estudiantil.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

En la **Figura 31** se presentan los porcentajes de logro obtenidos por los grupos experimental y de control en las cuatro competencias asociadas al manejo de diferentes tipos de representaciones moleculares y al reconocimiento de propiedades físicas entre compuestos con diferencias estereoquímicas.

En general, se observa que la competencia con mayor porcentaje de logro corresponde a la C1, donde el grupo experimental alcanza un rendimiento cercano al 89%, superando ampliamente al grupo de control, que se ubica alrededor del 66%. Este resultado sugiere que los estudiantes del grupo experimental desarrollaron una mejor capacidad para transformar proyecciones de Fischer en representaciones tridimensionales mediante cuñas, lo que refleja un fortalecimiento en su habilidad de visualización espacial y comprensión estructural de las moléculas.

En la C2, relacionada con el proceso inverso, es decir, la conversión de representaciones tridimensionales a proyecciones de Fischer, el grupo de control presenta un desempeño superior (aproximadamente 67%) en comparación con el grupo experimental (alrededor de 51%). Esto podría indicar que el grupo de control retuvo mejor la interpretación bidireccional entre ambas representaciones, posiblemente debido a una mayor familiaridad con ejercicios de este tipo en la enseñanza tradicional.

Respecto a la competencia C3, centrada en la identificación de pares de moléculas y su clasificación según la relación estructural o estereoquímica (isómeros, enantiómeros, diastereoisómeros o mismo compuesto), ambos grupos presentan porcentajes de logro similares, cercanos al 47–50%, lo que evidencia que esta competencia continúa representando un desafío común. Este desempeño sugiere la necesidad de fortalecer el razonamiento analítico y la aplicación de criterios estructurales en la resolución de este tipo de ejercicios.

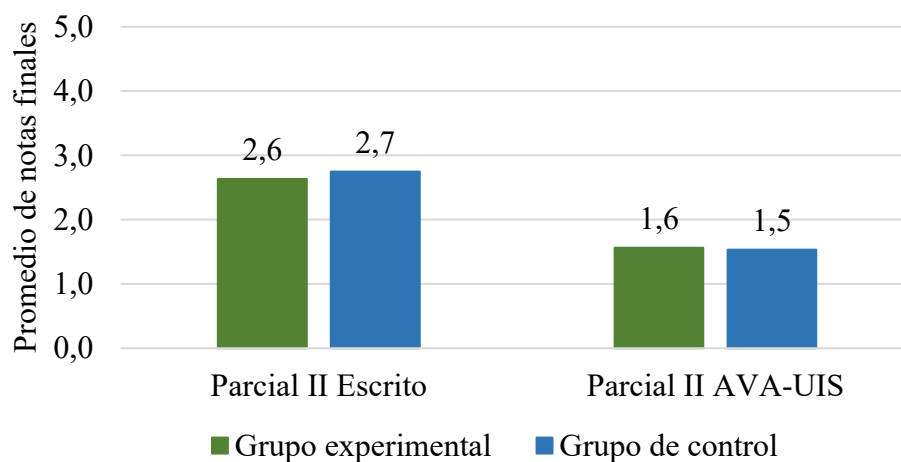
## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Finalmente, la competencia C4 presenta los valores más bajos de logro en ambos grupos, con porcentajes inferiores al 42%. Dado que esta competencia se relaciona con la identificación de enantiómeros y diastereoisómeros, así como con la determinación de si pueden separarse mediante métodos convencionales (como destilación o recristalización) o si requieren técnicas más especializadas, los resultados evidencian una comprensión limitada del vínculo entre la estructura molecular y las propiedades físicas experimentales. Esto sugiere que los estudiantes necesitan un mayor acompañamiento pedagógico para fortalecer la conexión entre las descripciones moleculares con estereoquímica y su aplicación práctica en contextos experimentales.

En conjunto, los resultados permiten concluir que el grupo experimental mostró un desempeño significativamente superior en la transformación de proyecciones (C1), mientras que el grupo de control destacó en la comprensión inversa (C2). Sin embargo, ambos grupos presentan debilidades compartidas en las competencias aplicadas (C3 y C4).

### Figura 32

*Notas promedio de los exámenes parciales II escritos y a través del AVA-UIS, del grupo experimental y el grupo de control (Anexo F y Anexo H)*



*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

*Nota.* Las condiciones de aplicación y selección de ítems en el AVA-UIS se describen en la Nota general (ver **Figura 24** en la página 99).

En la **Figura 32** se presentan los promedios finales obtenidos por los estudiantes del grupo experimental y del grupo de control en el segundo examen parcial, el cual se aplicó en dos modalidades, escrita y virtual (AVA-UIS). Se evidencia una diferencia marcada en los resultados entre ambos formatos, siendo superiores los promedios alcanzados en la evaluación escrita, con valores cercanos a 2,6 – 2,7 sobre 5,0, en comparación con los obtenidos en la prueba virtual, donde los promedios se reducen aproximadamente a 1,5 – 1,6.

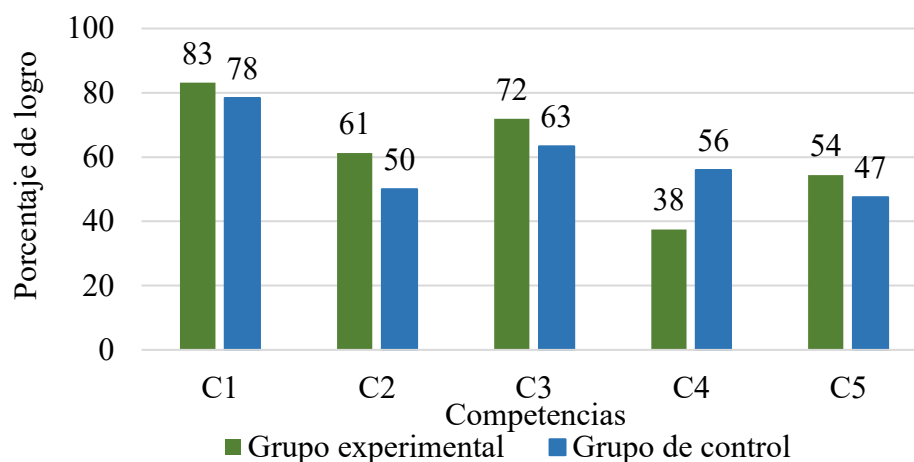
Tanto el grupo experimental como el de control muestran un comportamiento similar en ambas modalidades, lo que sugiere que la tendencia no depende del tipo de intervención didáctica, sino del formato del examen. La menor puntuación en la versión virtual puede asociarse al hecho de que esta modalidad requiere precisión conceptual y respuestas cerradas, limitando las posibilidades de argumentar o desarrollar el razonamiento de manera más amplia, como ocurre en el formato escrito.

De manera general, los resultados permiten observar que, aunque ambos grupos mantienen un desempeño comparable entre sí, el rendimiento general disminuye al cambiar al entorno virtual, evidenciando la importancia del formato de evaluación en la expresión del aprendizaje adquirido.

## 5.3.4. Análisis de resultados de los exámenes acumulativos

## Figura 33

Porcentaje de logro en cada una de las competencias en el examen acumulativo escrito, SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales, en ambos grupos (Anexo G)



Nota. Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la Figura 23 en la página 97. Los resultados obtenidos en cada una de estas competencias fueron evaluados conforme a los criterios de valoración previamente establecidos (Apéndice F), garantizando la objetividad y la coherencia en la evaluación del desempeño estudiantil.

De manera global, se observa que el grupo experimental presenta porcentajes de logro superiores en la mayoría de las competencias, específicamente en C1, C2, C3 y C5. La única excepción corresponde a la competencia C4, donde su desempeño desciende a alrededor del 38%, mientras que el grupo de control alcanza aproximadamente un 56%. Esto indica que, aunque el grupo experimental muestra un dominio general más alto, la identificación y diferenciación entre enantiómeros, diastereómeros, isómeros estructurales y moléculas idénticas continúa siendo un aspecto que requiere fortalecimiento.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

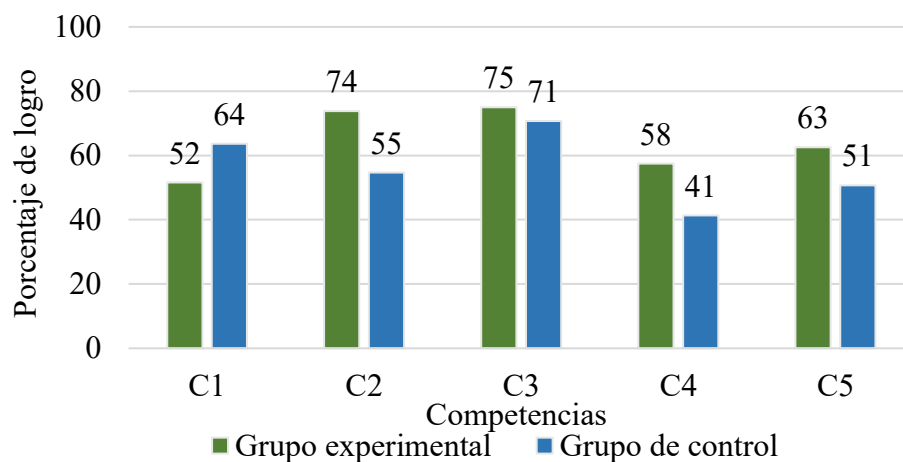
En el grupo de control, aunque los porcentajes de logro tienden a ser más homogéneos, su punto más débil se ubica en la competencia C5, con un logro cercano al 47%, relacionada con la comprensión de las propiedades físicas de los estereoisómeros. Esta dificultad es mayormente conceptual y, por tanto, susceptible de mejora mediante un trabajo más enfocado en la relación entre estructura y comportamiento físico.

Un aspecto relevante es que, pese a que ambos grupos presentan porcentajes inferiores al 83% en varias competencias, el grupo experimental evidencia avances en la visualización espacial de las moléculas, aun cuando esta evaluación se aplicó sin el uso de modelos moleculares. Esto sugiere que el recurso didáctico no generó dependencia, sino que fortaleció las habilidades espaciales y la interpretación bidimensional, lo cual podría explicar su ventaja general frente al grupo de control, que no contó en ningún momento de esta investigación con dicho apoyo.

Finalmente, al comparar ambos grupos, se aprecia que el grupo de control muestra un patrón de logros más uniforme, mientras que el grupo experimental presenta una variabilidad mayor, concentrada principalmente en la competencia C4. No obstante, el rendimiento global favorece al grupo experimental, lo que refuerza la utilidad del recurso implementado en el desarrollo de competencias en estereoquímica.

**Figura 34**

Porcentaje de logro en cada una de las competencias en el examen acumulativo escrito, CON los modelos moleculares físicos tridimensionales, en ambos grupos (Anexo G)



*Nota.* Las designaciones C1–C5 corresponden a las mismas competencias descritas en la Figura 23 en la página 97. Los resultados obtenidos en cada una de estas competencias fueron evaluados conforme a los criterios de valoración previamente establecidos (Apéndice G), garantizando la objetividad y la coherencia en la evaluación del desempeño estudiantil.

Al comparar los resultados de las competencias evaluadas en las dos pruebas, la primera realizada sin modelos moleculares y la segunda con su uso, se observan patrones diferenciados entre el grupo experimental y el grupo de control.

En el grupo experimental, se evidencia una mejora notable en la mayoría de las competencias cuando los estudiantes utilizan los modelos. Las competencias C2 y C4, relacionadas con la nomenclatura estereoquímica e identificación de pares de moléculas y su relación estereoquímica, presentan incrementos significativos (+13% y +20%, respectivamente). Esto sugiere que los modelos facilitaron la comprensión espacial y la interpretación de la estructura molecular,

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

habilidades esenciales para ejecutar estas tareas con precisión. Asimismo, las competencias C3 y C5, vinculadas con la representación gráfica en perspectiva y la comprensión de las propiedades físicas de isómeros, también muestran avances (+3% y +8%, respectivamente).

Sin embargo, la competencia C1 constituye una excepción importante: su porcentaje de logro desciende de un nivel superior al 82% en la primera evaluación a un valor cercano al 52% en la segunda (-31%). Esta competencia exige identificar y asignar correctamente la configuración absoluta (*R/S*), una tarea que, aunque depende de la visualización espacial, también exige precisión secuencial en la aplicación de reglas y prioridades. La disminución puede relacionarse con factores como la fatiga propia de realizar dos evaluaciones consecutivas o la dificultad adicional de integrar simultáneamente la manipulación del modelo y la aplicación estricta de las reglas CIP. No obstante, las moléculas empleadas mantuvieron el mismo nivel de complejidad, asegurando que la variación no estuviera asociada a cambios en el contenido evaluado.

En el grupo de control la tendencia fue diferente: aunque algunas competencias muestran leves mejoras al introducir los modelos, los porcentajes se mantienen, en general, por debajo de los observados en el grupo experimental. Al igual que en el grupo experimental, C1 presenta una disminución respecto a la primera prueba (-15%). Las competencias restantes, C2, C3, C4 y C5, se mantienen por debajo del 75%, con valores bajos en la identificación de relaciones entre estereoisómeros (C4) y en el análisis de propiedades físicas (C5). Esta tendencia puede responder a que el grupo de control no había trabajado previamente con los modelos moleculares, por lo que debieron simultáneamente familiarizarse con su uso y resolver las tareas evaluativas, lo cual aumenta la carga cognitiva y reduce el desempeño inmediato.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Al comparar el desempeño entre el grupo experimental y el grupo de control, se observa que el grupo experimental alcanzó mejores resultados en la mayoría de las competencias evaluadas mediante el uso de modelos moleculares. Esta diferencia es especialmente notable en la competencia C2, donde la brecha entre ambos grupos es más amplia (~19%). En términos generales, ambos grupos muestran mejoras en algunas competencias respecto a la evaluación sin modelos; sin embargo, la competencia C1 constituye una excepción, pues en esta ambos grupos disminuyen significativamente su porcentaje de logro.

En el grupo experimental se evidencian incrementos en las competencias C2, C3, C4 y C5 durante la evaluación con modelos, lo que sugiere que la familiarización previa con los modelos físicos facilitó la comprensión de las estructuras y la resolución de las tareas asociadas. En contraste, el grupo de control presenta mejoras en C2, C3 y C5, pero registra una disminución en C1 y C4. Esta reducción puede estar relacionada con el hecho de que estos estudiantes no estaban familiarizados con el uso de modelos moleculares, por lo que debieron simultáneamente aprender a manipularlos y resolver las preguntas evaluativas, aumentando la carga cognitiva en comparación con el grupo experimental.

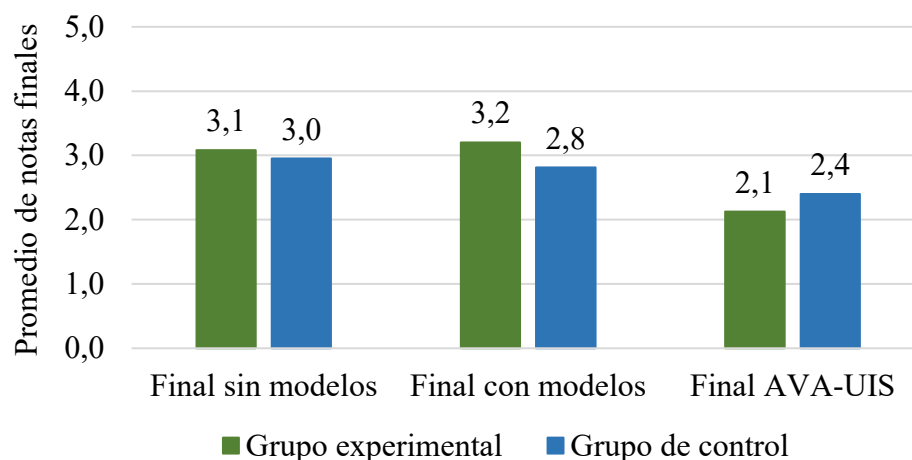
Un elemento adicional que pudo influir en el rendimiento es la organización temporal de las pruebas. El examen con modelos se aplicó aproximadamente cinco minutos después de finalizar el examen sin modelos, lo que implica que los estudiantes ya habían acumulado una carga mental inicial antes de continuar con la segunda evaluación. Aunque este tiempo de trabajo continuo se encuentra dentro del rango habitual al que están acostumbrados, es posible que la presión, la fatiga cognitiva o el manejo del tiempo hayan afectado el desempeño en algunas competencias, particularmente en C1, donde ambos grupos mostraron descensos.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

A pesar de estas variaciones, **los resultados indican que el uso de modelos moleculares sí favorece el aprendizaje y la comprensión de las estructuras químicas**, reflejándose en un mejor desempeño general, especialmente cuando existe familiarización previa con la herramienta. Es probable que estos beneficios se amplifiquen en contextos donde los estudiantes dispongan de más tiempo para la resolución de las actividades o donde se implementen estrategias adicionales para facilitar una interacción temprana y eficiente con los modelos.

### Figura 35

*Notas promedio de los exámenes acumulativos escritos y a través del AVA-UIS, para el grupo experimental y el grupo de control (Anexo G y Anexo H)*



*Nota.* Las condiciones de aplicación y selección de ítems en el AVA-UIS se describen en la Nota general (ver **Figura 24** en la página 99).

Al analizar los promedios finales del examen acumulativo, aplicado tanto de manera escrita (con y sin modelos) como virtual mediante el AVA-UIS, se observan diferencias entre las modalidades. En ambos grupos, los mejores promedios se registraron en la evaluación escrita, con valores aproximados de 3,0 - 3,1 (sin modelos) y 2,8 - 3,2 (con modelos) sobre 5,0. Por el contrario, la evaluación virtual mostró los puntajes más bajos, con promedios cercanos a 2,1 - 2,4.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Tanto el grupo experimental como el de control evidenciaron una disminución en su rendimiento en la prueba virtual. No obstante, el grupo de control obtuvo un promedio ligeramente superior (2,4) en comparación con el experimental (2,1). Esta diferencia puede atribuirse a las características del examen virtual, el cual se limita a la selección de respuestas sin permitir argumentación o explicación del procedimiento. Tal restricción reduce la posibilidad de que el estudiante exprese parcialmente su razonamiento, lo que puede afectar de manera significativa el puntaje final.

Aun así, se observa una mejora respecto al diagnóstico inicial aplicado bajo la misma modalidad. Mientras que en la evaluación diagnóstica los promedios se situaban entre 1,6 y 1,8; en el examen acumulativo estos ascendieron a 2,1 y 2,4, lo que evidencia un progreso general en ambos grupos a lo largo del estudio.

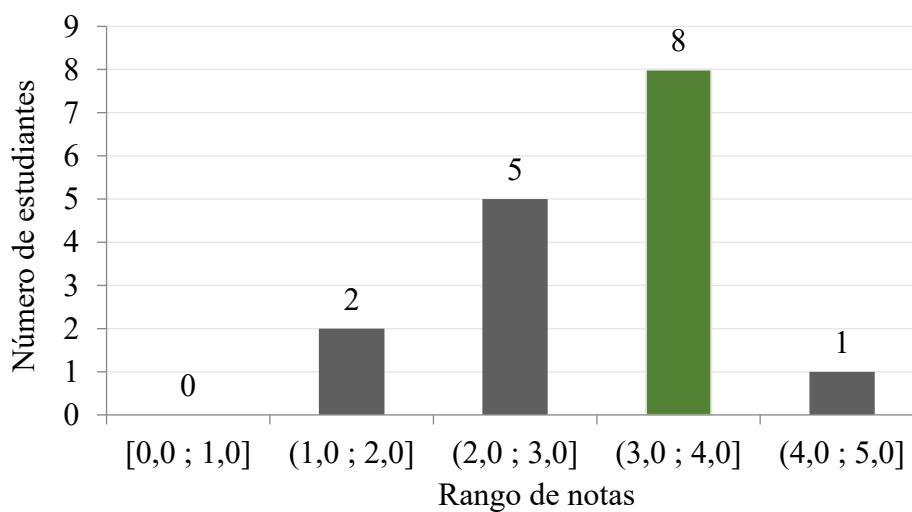
Para evaluar de manera rigurosa la eficacia de la metodología de enseñanza basada en modelos moleculares, se aplicaron análisis estadísticos tanto a la prueba diagnóstica como a la prueba final. Dado que el análisis correspondiente a la prueba diagnóstica ya fue presentado previamente (en la página 101 y siguientes), en este apartado se desarrolla el mismo procedimiento, esta vez aplicado a la prueba final, teniendo en cuenta sus tres modalidades: prueba escrita sin modelos, escrita con modelos y virtual. Con el fin de determinar si era pertinente emplear pruebas paramétricas en la comparación entre grupos, primero se verificaron los supuestos esenciales relacionados con la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas. Para ello se utilizó nuevamente la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk, estableciendo un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , en concordancia con los criterios adoptados para el análisis estadístico general del estudio.

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

En el caso del grupo experimental, los resultados mostraron que no existieron desviaciones significativas respecto a la normalidad en dos de las tres modalidades evaluadas. Para el examen escrito sin modelos se obtuvo un valor de  $p = 0,6773$ , mientras que en el examen escrito con modelos el valor fue  $p = 0,4647$ . Ambos valores superan el nivel de significancia establecido, por lo que se concluye que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal en estas modalidades. Esto valida el uso de pruebas paramétricas en los análisis posteriores que comparan el desempeño entre grupos bajo estas condiciones de evaluación. Por otro lado, en la modalidad virtual aplicada a través del AVA-UIS, el valor obtenido fue de  $p=0,009316$ , valor inferior al umbral de significancia  $\alpha = 0,05$ . En consecuencia, los datos correspondientes a esta modalidad no cumplen con el supuesto de normalidad, lo que indica que el análisis estadístico para este caso debe realizarse utilizando pruebas no paramétricas o métodos alternativos que no requieran asumir la distribución normal de los datos (Gómez-Gómez et al., 2013).

#### Figura 36

*Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo experimental*



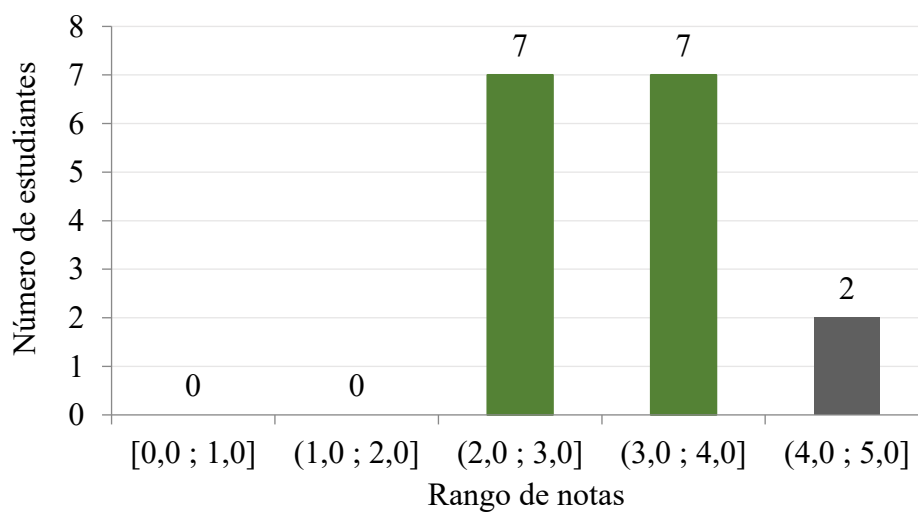
*Nota.* Autoría propia.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

El histograma correspondiente al examen acumulativo **sin** modelos del grupo experimental muestra que la mayor concentración de estudiantes se encuentra en el intervalo de calificaciones (3,0;4,0], en el cual se ubican ocho (8) estudiantes, constituyendo el grupo más numeroso. Este patrón indica que la mayoría del estudiantado alcanzó un rendimiento situado en un rango medio-alto. Las calificaciones se distribuyen principalmente entre 3,0 y 5,0, evidenciando una dispersión moderada en el desempeño. La presencia de valores más bajos, como el intervalo (1,0;2,0], donde se encuentran dos estudiantes, sugiere que existen diferencias individuales relevantes en la apropiación de los contenidos evaluados. En cuanto a la forma de la distribución, se observa una concentración hacia los valores intermedios, con una inclinación hacia la derecha debido a la presencia de calificaciones en el rango superior (4,0;5,0]. Esta forma indica un desempeño heterogéneo a nivel grupal, en el que coexisten estudiantes con logros más consolidados y otros que aún presentan dificultades.

### Figura 37

*Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, CON los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo experimental*



*Nota.* Autoría propia.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

El histograma correspondiente al desempeño del grupo experimental en el examen acumulativo escrito muestra una distribución predominantemente concentrada en los rangos intermedios y medio-altos, específicamente entre  $(2,0;3,0]$  y  $(3,0;4,0]$ , donde se observa el mayor número de estudiantes. Esta acumulación en el centro de la distribución sugiere que la mayoría del grupo alcanzó un rendimiento moderado, evidenciando un nivel de comprensión adecuado sobre los contenidos evaluados, aunque sin llegar, en su mayoría, a calificaciones destacadas dentro del nivel superior.

La ausencia de valores extremos bajos, es decir, de estudiantes ubicados en el rango de  $[0,0;2,0]$ , indica que no se presentaron desempeños críticamente deficientes. Esto puede interpretarse como un indicio de que, en general, los estudiantes alcanzaron un dominio mínimo de los conceptos fundamentales, evitando concentraciones en puntajes que pudieran reflejar dificultades graves de comprensión.

Por otra parte, la disminución progresiva de la frecuencia a medida que aumentan los rangos de calificación sugiere la presencia de una distribución con cola hacia la izquierda. Este comportamiento es típico en grupos donde solo un número reducido de estudiantes logra niveles de desempeño sobresalientes, mientras que la mayoría se agrupa alrededor de valores medios. La presencia de algunos estudiantes en el rango de  $(4,0;5,0]$  refleja que, aunque minoritaria, existe una proporción del grupo que alcanzó un rendimiento notoriamente superior, posiblemente asociado a un mayor nivel de comprensión, preparación o habilidades previas.

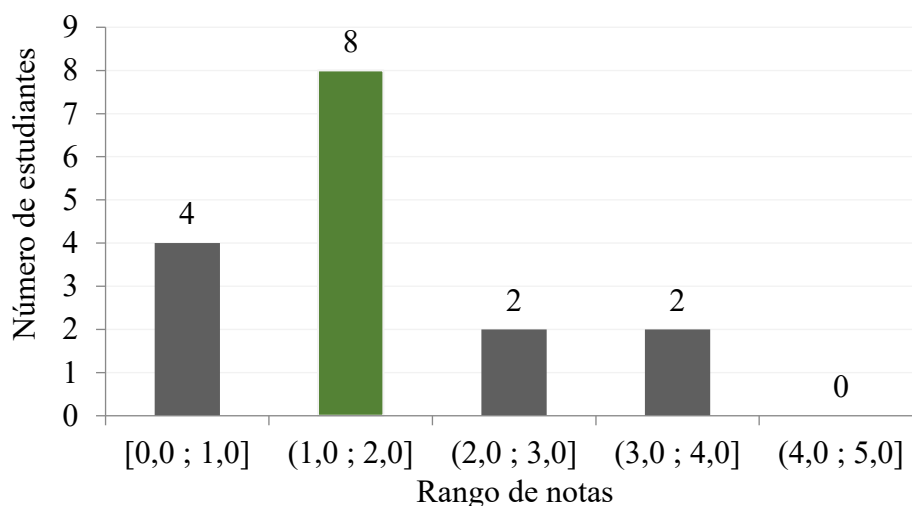
En conjunto, la distribución observada permite caracterizar al grupo experimental como heterogéneo dentro de un rango medio, con mayor representatividad en los puntajes centrales y menor presencia tanto en los extremos bajos como en los altos. Esta configuración puede estar

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

asociada a diferencias individuales en el ritmo de aprendizaje, en el grado de apropiación de los modelos moleculares utilizados o en la capacidad de aplicar los conceptos evaluados en distintos contextos. Asimismo, el patrón de concentración intermedia podría indicar que la metodología propuesta logró favorecer un nivel adecuado de comprensión general, aunque su impacto no fue homogéneo en todos los estudiantes.

**Figura 38**

*Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo a través del AVA-UIS en el grupo experimental*



*Nota.* Autoría propia.

El histograma correspondiente al examen acumulativo aplicado mediante el AVA-UIS en el grupo experimental muestra una distribución claramente concentrada en los rangos bajos e intermedios de calificación. La mayor parte de los estudiantes se ubica entre 0,0 y 2,0, con una frecuencia particularmente alta en el intervalo de (1,0;2,0], lo que indica que este fue el rango predominante de desempeño. A partir del rango de (2,0,3,0], la cantidad de estudiantes disminuye de manera importante, y solo unos pocos alcanzan valores superiores a 3,0.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

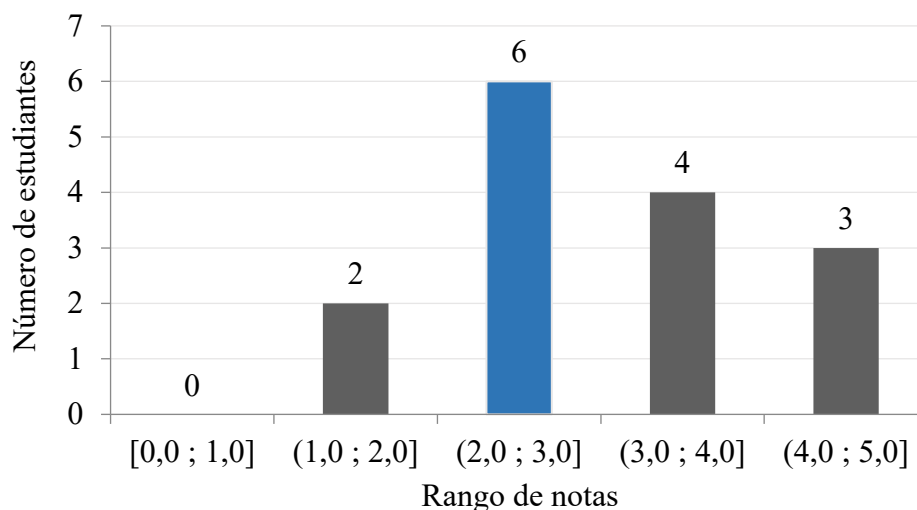
Esta distribución evidencia un rendimiento global limitado en esta modalidad, con una fuerte acumulación en los niveles de desempeño insuficiente o apenas aceptable. La escasa presencia de calificaciones altas sugiere que la evaluación en plataforma virtual representó mayores dificultades para el grupo experimental, posiblemente por la naturaleza del formato, que exige seleccionar la respuesta correcta sin permitir justificar procesos o razonamientos intermedios. En conjunto, la forma del histograma refleja una tendencia hacia calificaciones bajas y una dispersión reducida en los niveles más altos, lo que apunta a una competencia general aún en desarrollo en el contexto de la evaluación virtual.

En el grupo de control, el análisis estadístico mostró que las tres modalidades del examen cumplieron adecuadamente con el supuesto de normalidad. En la prueba escrita sin apoyo de modelos, el valor obtenido fue  $p = 0,9536$ , mientras que en la versión escrita con modelos la prueba arrojó  $p = 0,4137$ . Ambos valores son superiores al nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0,05$ ), lo que indica que las distribuciones de estas dos modalidades no presentan desviaciones relevantes respecto a la normalidad. Este comportamiento permite justificar el empleo de métodos paramétricos en los análisis comparativos que se realizan posteriormente.

De manera similar, la modalidad virtual aplicada mediante el AVA-UIS obtuvo un valor de  $p = 0,2027$ , también superior al umbral definido. Por tanto, esta evaluación adicionalmente cumple con el criterio de normalidad, posibilitando el uso de pruebas paramétricas en su tratamiento estadístico. Esto contrasta con lo observado en el grupo experimental, donde la versión virtual del examen no satisfizo dicho supuesto.

**Figura 39**

*Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, SIN los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo de control*



*Nota.* Autoría propia.

El histograma correspondiente al examen acumulativo del grupo de control sin el uso de modelos moleculares físicos muestra una distribución de calificaciones que tiende hacia los niveles medio-altos de desempeño. Si bien se observa la presencia de dos (2) estudiantes en los intervalos bajos (1,0;2,0], la mayor parte de los participantes se concentra en los rangos intermedios, especialmente entre 2,0 y 3,0.

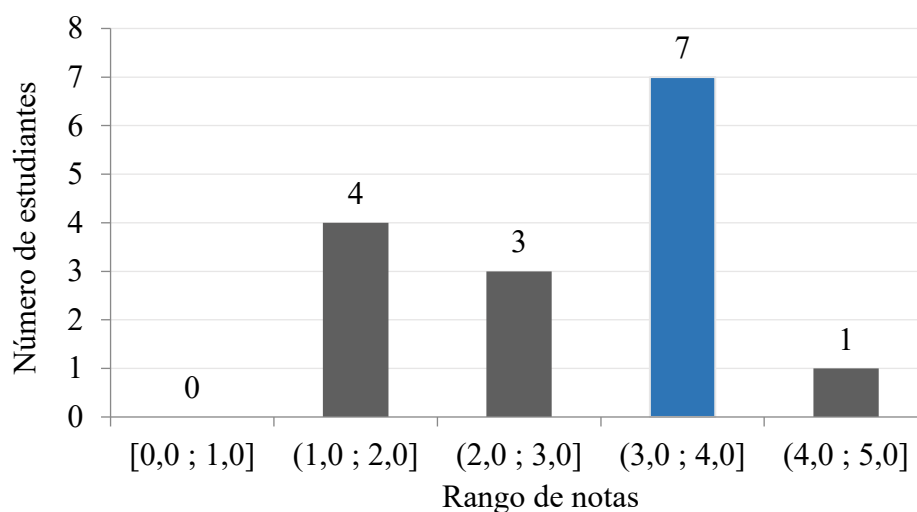
Asimismo, la distribución presenta cierta dispersión hacia valores superiores, destacándose un intervalo final (4,0;5,0] con tres (3) estudiantes, lo cual evidencia variabilidad en el nivel de apropiación de los contenidos. La forma general del histograma sugiere que no existe una tendencia marcada hacia un extremo, sino una distribución relativamente equilibrada con oscilaciones moderadas entre intervalos. Esta variabilidad puede interpretarse como resultado de diferencias individuales en la capacidad de análisis y representación de las estructuras químicas evaluadas,

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

especialmente en ausencia de apoyos visuales manipulables como los modelos moleculares físicos tridimensionales.

### Figura 40

*Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo escrito, CON los modelos moleculares físicos tridimensionales, en el grupo de control*



*Nota.* Autoría propia.

El histograma del examen acumulativo aplicado al grupo control, pero esta vez con el uso de modelos moleculares físicos, evidencia una distribución de calificaciones que se mantiene mayoritariamente en rangos medios-altos, aunque con ciertos matices relevantes. La mayor parte de los estudiantes se agrupa entre los intervalos (2,0;3,0] y (3,0;4,0], lo cual indica que el aprendizaje logrado, aun con la disponibilidad de modelos tridimensionales, continúa ubicándose en un nivel de dominio parcial. Sin embargo, destaca un incremento notable en el número de estudiantes que se ubican en el intervalo (3,0;4,0], donde se registra la frecuencia más alta del conjunto. Este comportamiento podría sugerir que, para algunos estudiantes, los modelos físicos contribuyeron a una mejor comprensión de los conceptos evaluados.

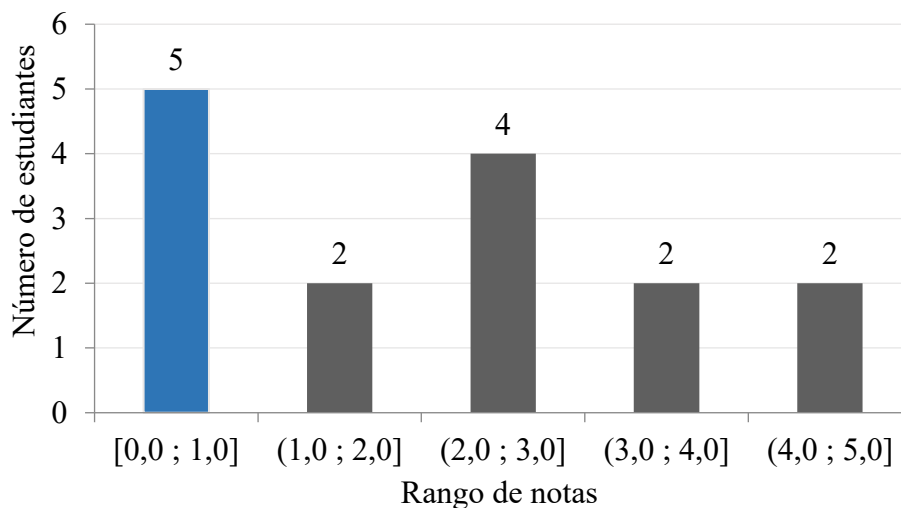
*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Pese a ello, la distribución conserva valores en los rangos más bajos (1,0;2,0] con cuatro (4) estudiantes, así como en los más altos (4,0;5,0] con un (1) solo estudiante, lo que confirma la persistencia de un rendimiento académico heterogéneo. Esta dispersión indica que, aunque los modelos moleculares pueden ser un recurso facilitador para ciertos estudiantes, su impacto no es uniforme, posiblemente debido a diferencias en las habilidades espaciales, estrategias de estudio o experiencias previas con representaciones tridimensionales.

En términos generales, la forma del histograma presenta una ligera inclinación hacia los valores intermedios con un pico en el rango medio-alto, lo cual sugiere una leve mejora respecto a la distribución sin modelos. No obstante, esta mejora no es suficiente para desplazar la tendencia general hacia un nivel de desempeño alto, lo que resalta la importancia de integrar otras estrategias didácticas complementarias junto con los modelos moleculares físicos tridimensionales.

**Figura 41**

*Distribución de los datos obtenidos en el examen acumulativo a través del AVA-UIS en el grupo de control*



*Nota.* Autoría propia.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

En el caso del grupo de control, el histograma revela una distribución más heterogénea que la observada en el grupo experimental, aunque también con predominancia en los rangos de calificación bajos. Los intervalos [0,0;1,0], así como (1,0;2,0] y (2,0;3,0], concentran el mayor número de estudiantes, lo que indica una variabilidad notable en el desempeño inicial. Aunque hay presencia de estudiantes con notas de 3,0 y 4,0; el número es moderado, lo que evidencia que alcanzar calificaciones altas en esta modalidad resultó complejo.

La distribución sugiere un desempeño heterogéneo dentro del grupo de control, mientras algunos estudiantes obtuvieron resultados muy bajos, otros lograron ubicarse en rangos medios aceptables. Esta variabilidad puede asociarse a diferencias individuales en el manejo del entorno virtual o en el grado de dominio conceptual requerido para responder sin apoyo adicional. En general, el histograma muestra una dispersión menos amplia que en el grupo experimental (ver **Figura 37** en página 125), aunque con una tendencia similar hacia concentraciones en los rangos bajos, lo que confirma que la modalidad de evaluación virtual presenta desafíos comunes para ambos grupos.

Una vez establecida la normalidad de los datos en la mayoría de las modalidades, con la excepción del examen aplicado a través del AVA-UIS en el grupo experimental, se procedió a evaluar el segundo supuesto requerido para la aplicación de la prueba *t de Student*, la homogeneidad de varianzas. Para ello, se aplicó la prueba de Levene, nuevamente empleando la plataforma *StatsKingdom*, utilizando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , el mismo empleado previamente en la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk.

La prueba de Levene se aplicó a los resultados del examen acumulativo escrito, tanto sin modelos moleculares como con modelos moleculares. En la modalidad escrita sin modelos, el valor

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

obtenido fue  $F = 0,5841$  y de  $p = 0,4509$ . Para la modalidad escrita con modelos, se registró un estadístico  $F = 2,9847$  y un valor  $p = 0,09469$ . En ambos casos, los valores de  $p$  superan el nivel de significancia establecido, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas, concluyéndose que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Asimismo, los valores de los grados de libertad asociados al estadístico  $F$  reflejan que las diferencias entre las varianzas son mínimas, lo cual refuerza esta interpretación.

De este modo, se cumple el segundo supuesto necesario para aplicar pruebas paramétricas como la *t de Student* en las modalidades escritas. No obstante, no es apropiado realizar la prueba de Levene para los resultados del examen virtual en el AVA-UIS, dado que en dicha modalidad el grupo experimental no cumplió el supuesto de normalidad (valor  $p < 0,05$ ), condición indispensable para llevar a cabo este análisis bajo el enfoque paramétrico.

#### 5.3.5. Análisis pre-post por recurso pedagógico dentro de cada grupo

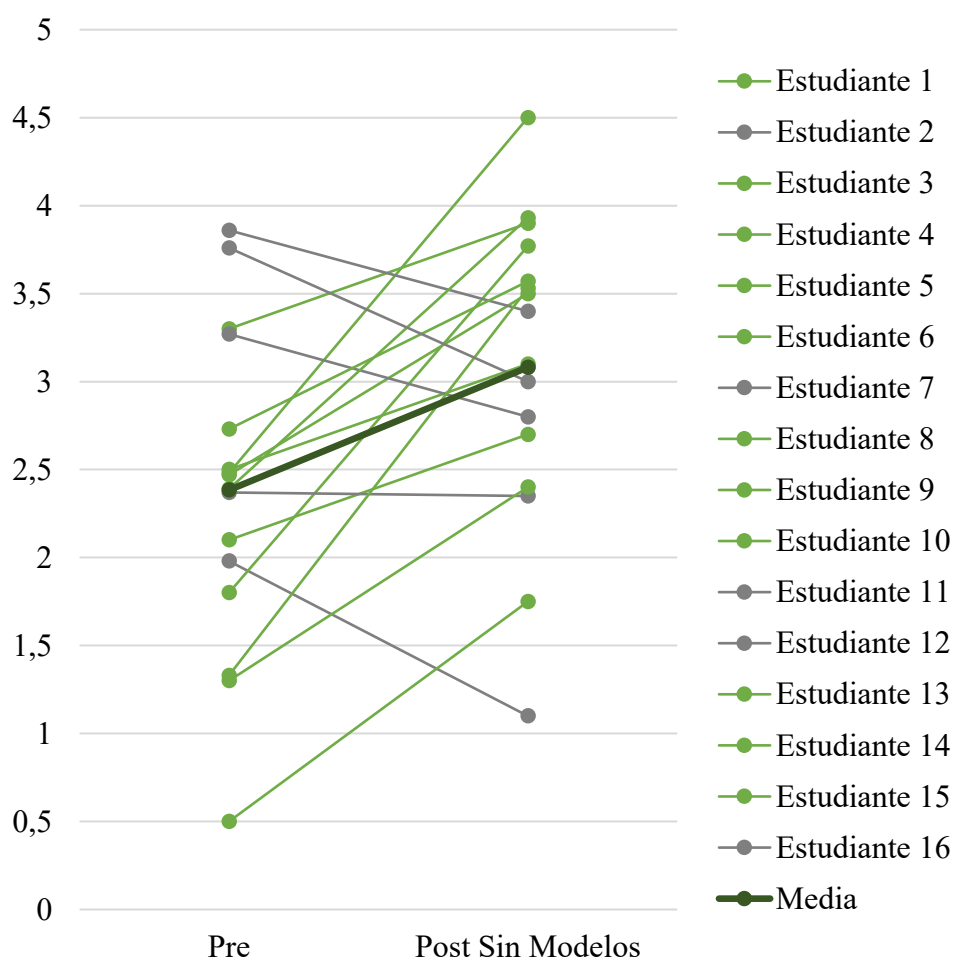
**5.3.5.1. SIN modelos moleculares físicos tridimensionales.** La comparación entre el puntaje pre-test y post-test del grupo experimental sin el uso de modelos moleculares tridimensionales se analizó mediante una prueba *t de Student* para muestras relacionadas, empleando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Los resultados mostraron una diferencia estadísticamente significativa entre ambas mediciones ( $p = 0,0132$ ), lo que indica que el desempeño de los estudiantes cambió de manera relevante tras la intervención tradicional sin modelos. El estadístico obtenido ( $t = 2,8095$ ) se ubicó fuera de la región de aceptación del 95% de confianza, confirmando el rechazo de la hipótesis nula de igualdad de medias. Además, el tamaño del efecto calculado mediante Cohen's  $d$  fue de 0,70, lo cual corresponde a un efecto grande, evidenciando que la magnitud del cambio observado no solo es estadísticamente significativa, sino también

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

educativamente relevante. Estos resultados sugieren que la estrategia implementada en este grupo generó un impacto notable en la comprensión de los contenidos evaluados, aun sin la incorporación de modelos moleculares físicos.

**Figura 42**

*Evolución individual en el grupo experimental de las notas entre el pre- y el post-test SIN modelos*



*Nota.* Autoría propia. Gráfica de líneas emparejadas que muestra las puntuaciones individuales del grupo experimental entre el pre-test y el post-test sin modelos. Cada línea representa el desempeño de un estudiante, lo que permite observar visualmente las variaciones individuales y la tendencia

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

general del grupo tras la intervención. Las líneas en color verde corresponden a estudiantes que presentaron una pendiente positiva, es decir, una mejora en su desempeño, mientras que las líneas en color gris representan a aquellos estudiantes cuya pendiente fue negativa, indicando una disminución en la puntuación entre ambas mediciones.

En la gráfica emparejada que compara los puntajes del pre-test y el post-test del grupo experimental sin modelos, se observa una tendencia general al incremento del rendimiento. La mayoría de los estudiantes presenta líneas con pendiente positiva, lo que indica una mejora clara en sus puntajes entre ambas mediciones. No obstante, cinco estudiantes muestran una disminución en su desempeño: en uno de ellos la caída es mínima, mientras que en los otros cuatro la reducción es más marcada. Aun así, el comportamiento global del grupo evidencia un patrón predominante de avance, reflejado en el aumento de la media general en el post-test. Esta tendencia visual es coherente con los resultados de la prueba *t de Student*, que confirmó una mejora estadísticamente significativa en el rendimiento del grupo.

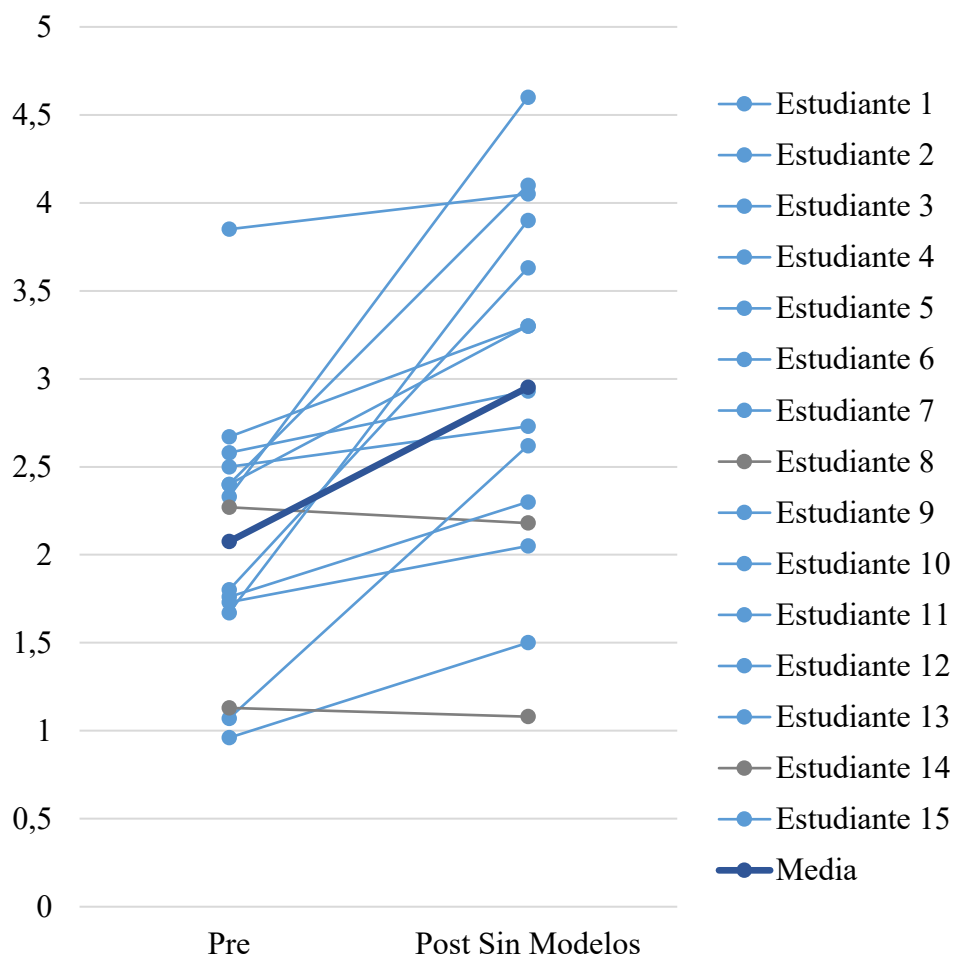
Para el grupo de control, se aplicó de la misma manera una prueba *t de Student* con el fin de comparar los puntajes del pre-test y el post-test sin modelos, utilizando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Los resultados indican un valor de  $p = 0,0009758$ , menor al nivel de significancia establecido, lo que conduce a rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias. En consecuencia, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos mediciones. El estadístico obtenido ( $t = 4,1530$ ) se ubica fuera de la región crítica del 95%, lo cual refuerza la evidencia de un cambio real en el rendimiento del grupo. De manera complementaria, el tamaño del efecto calculado ( $d = 1,07$ ) corresponde a un efecto grande, indicando que la magnitud de la mejora observada es considerable y tiene relevancia práctica. En conjunto, estos resultados

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

muestran que el grupo de control presentó un progreso significativo entre el pre-test y el post-test aun sin la utilización de modelos físicos tridimensionales.

**Figura 43**

*Evolución individual en el grupo de control de las notas entre el pre- y el post-test SIN modelos*



*Nota.* Autoría propia. Gráfica de líneas emparejadas que muestra las puntuaciones individuales del grupo de control entre el pre-test y el post-test sin modelos. Cada línea representa el desempeño de un estudiante, lo que permite observar visualmente las variaciones individuales y la tendencia general del grupo tras la intervención. Las líneas en color azul corresponden a estudiantes que presentaron una pendiente positiva, es decir, una mejora en su desempeño, mientras que las líneas

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

en color gris representan a aquellos estudiantes cuya pendiente fue negativa, indicando una disminución en la puntuación entre ambas mediciones.

La gráfica de líneas emparejadas del grupo de control en la condición sin modelos muestra un patrón mayoritariamente ascendente en los puntajes individuales. De los quince (15) estudiantes, trece (13) evidencian una mejora clara entre el pre-test y el post-test, mientras que solo dos (2) presentan disminuciones leves en su desempeño. La trayectoria de la media grupal también muestra una pendiente positiva, lo que indica un incremento general en el rendimiento promedio.

**5.3.5.2. CON modelos moleculares físicos tridimensionales.** Para el grupo experimental se aplicó una prueba *t de Student* para muestras relacionadas, con el propósito de evaluar si el uso de modelos moleculares tridimensionales generó un cambio significativo en el desempeño académico de los estudiantes entre la evaluación diagnóstica (pre) y la evaluación final (post). Los resultados mostraron un valor de  $p = 0,002667$ , el cual es inferior al nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0,05$ ). Este hallazgo permite concluir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las calificaciones antes y después de la intervención. En otras palabras, la mejora observada en el grupo experimental tras el uso de los modelos no se debe al azar, sino que refleja un efecto real de la estrategia didáctica implementada.

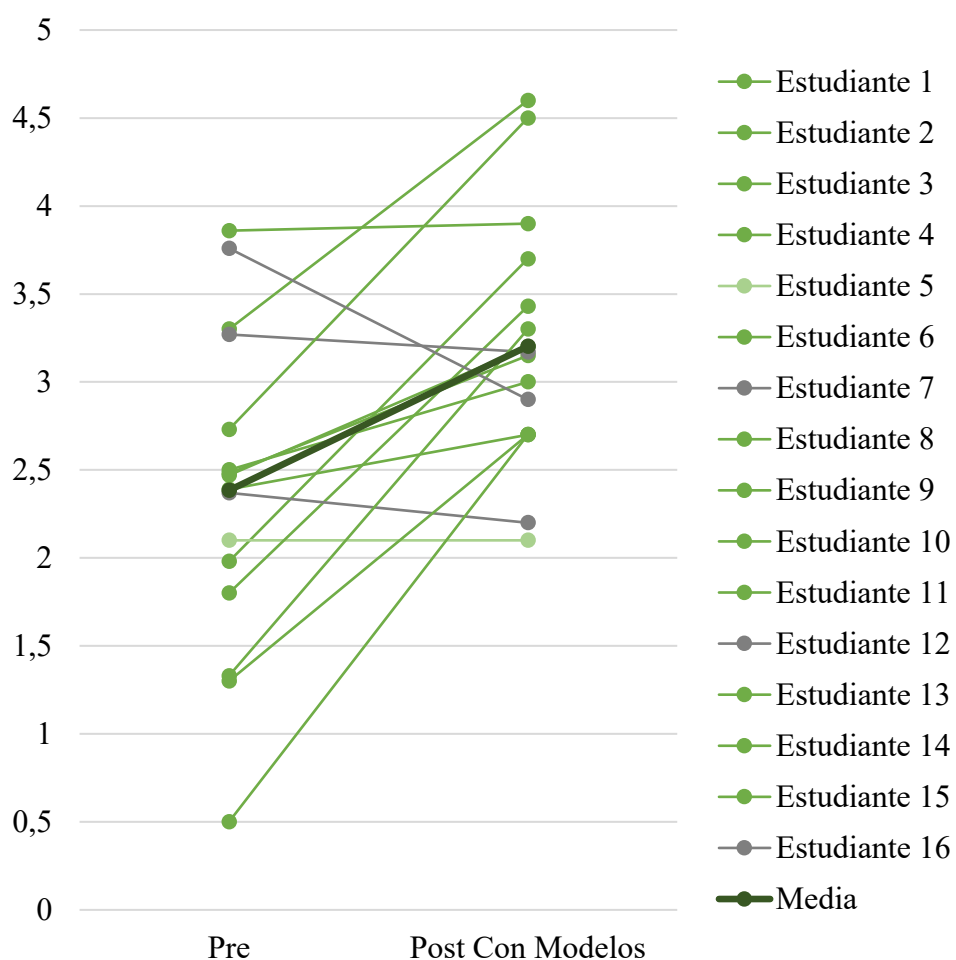
El estadístico obtenido fue  $t = 3,5925$ , cuyo signo negativo indica que las calificaciones del post-test fueron superiores a las del pre-test, dado que el software empleó la resta pre-post como punto de comparación. Esto confirma que los estudiantes, en términos generales, aumentaron su rendimiento académico después de manipular y trabajar con los modelos tridimensionales. Así, la dirección del cambio es claramente favorable y coherente con la hipótesis de que los modelos físicos facilitan la comprensión de la estereoquímica.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Además, el análisis incorporó el cálculo del tamaño del efecto mediante la  $d$  de Cohen, obteniéndose un valor de 0,90, considerado grande según los criterios clásicos de interpretación. Este resultado indica que la magnitud del impacto de la intervención es sustancial y tiene relevancia práctica y pedagógica. No solo hubo una diferencia estadísticamente significativa, sino que el cambio fue amplio, consistente y notable. En investigaciones educativas, un tamaño del efecto cercano o superior a 1 es un indicador sólido de que la estrategia empleada produjo mejoras significativas en el aprendizaje (Cohen, 2013).

**Figura 44**

*Evolución individual en el grupo experimental de las notas entre el pre- y el post-test CON modelos*



*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

*Nota.* Autoría propia. Gráfica de líneas emparejadas que muestra las puntuaciones individuales del grupo experimental entre el pre-test y el post-test con modelos. Cada línea representa el desempeño de un estudiante, lo que permite observar visualmente las variaciones individuales y la tendencia general del grupo tras la intervención. Las líneas en color verde corresponden a estudiantes que presentaron una pendiente positiva, es decir, una mejora en su desempeño, mientras que las líneas en color gris representan a aquellos estudiantes cuya pendiente fue negativa, indicando una disminución en la puntuación entre ambas mediciones.

La gráfica correspondiente al rendimiento del grupo experimental también respalda estos resultados. En ella se observa que la mayoría de los 16 estudiantes presentan una pendiente positiva entre el pre y el post, lo cual visualmente representa una mejora individual en sus puntajes. Aunque tres (3) estudiantes mostraron un descenso en su rendimiento, esta variación individual es esperada dentro de contextos educativos reales y no altera la tendencia general ascendente del grupo. La línea global que une los promedios y los desplazamientos individuales evidencia un cambio favorable en la comprensión conceptual y procedimental de los contenidos trabajados.

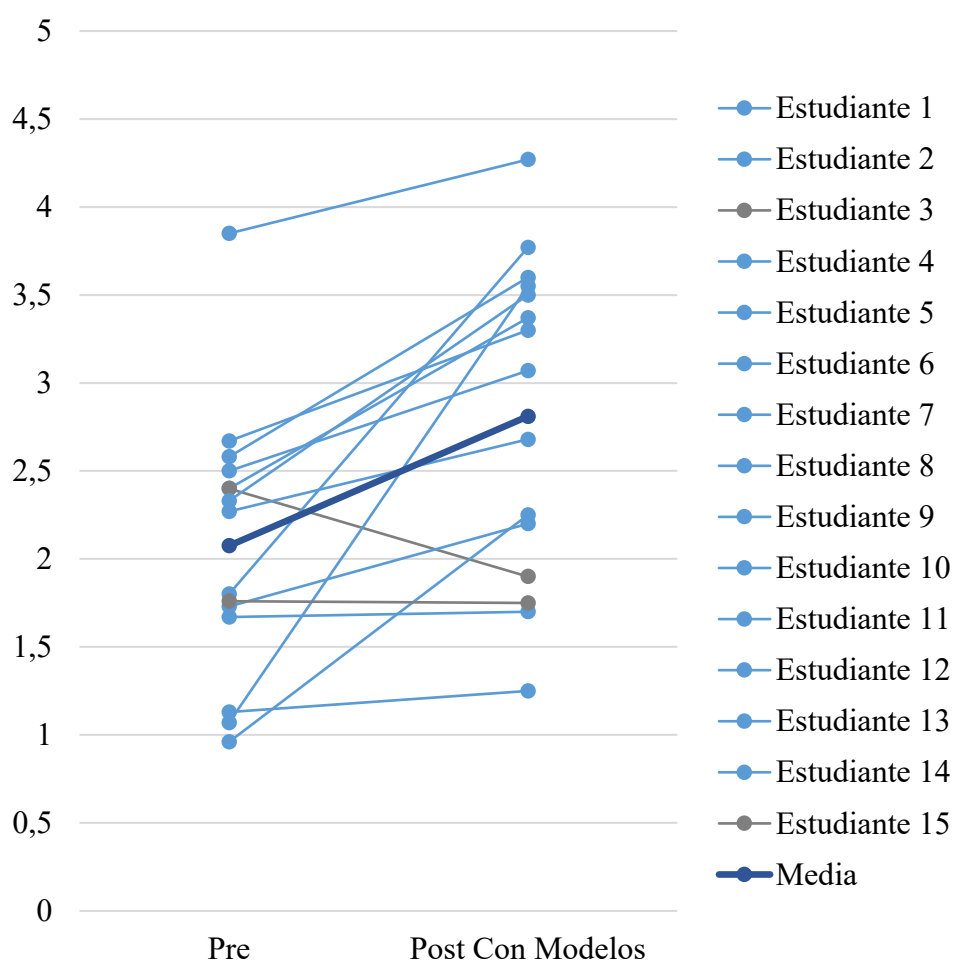
En el grupo de control, la comparación entre el pre-test y el post-test realizado con el uso de modelos físicos tridimensionales evidenció una mejora estadísticamente significativa en el desempeño académico de los estudiantes. La prueba *t de Student* arrojó un valor de  $p = 0,002552$ , inferior al nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0,05$ ), lo que permite rechazar la hipótesis nula y concluir que las calificaciones del post-test fueron significativamente mayores que las del pre-test. El estadístico obtenido ( $t = 3,6642$ ) respalda esta conclusión al ubicarse fuera de la región crítica correspondiente al 95% de confianza, confirmando que la diferencia observada no es atribuible al azar. Además, el tamaño del efecto fue grande ( $d = 0,95$ ), lo que indica que la magnitud de la mejora es sustancial y tiene relevancia práctica dentro del proceso de aprendizaje. En conjunto,

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

estos resultados muestran que, aun sin haber trabajado de manera sistemática con modelos durante la intervención, a diferencia del grupo experimental, el grupo de control también logró beneficiarse del uso de los modelos en el momento de la evaluación, obteniendo un impacto significativo y de alto tamaño del efecto en su comprensión de los contenidos evaluados.

**Figura 45**

*Evolución individual en el grupo de control de las notas entre el pre- y el post-test CON modelos*



*Nota.* Autoría propia. Gráfica de líneas emparejadas que muestra las puntuaciones individuales del grupo de control entre el pre-test y el post-test con modelos. Cada línea representa el desempeño de un estudiante, lo que permite observar visualmente las variaciones individuales y la tendencia

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

general del grupo tras la intervención. Las líneas en color azul corresponden a estudiantes que presentaron una pendiente positiva, es decir, una mejora en su desempeño, mientras que las líneas en color gris representan a aquellos estudiantes cuya pendiente fue negativa, indicando una disminución en la puntuación entre ambas mediciones.

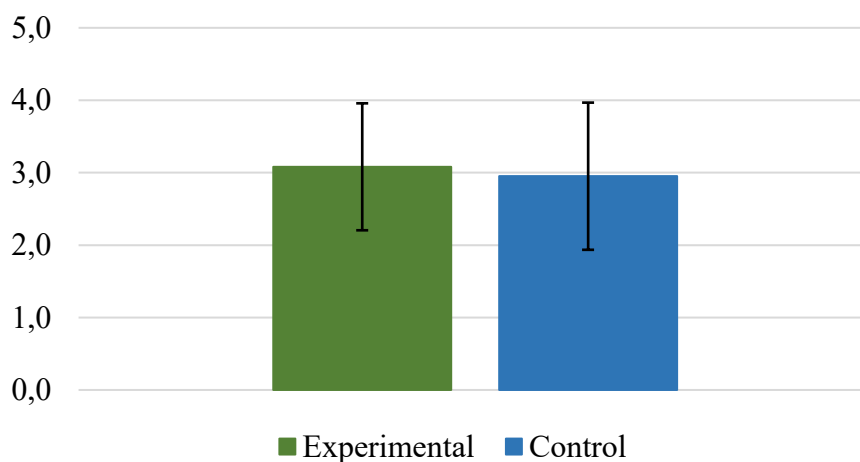
La representación gráfica del desempeño del grupo de control entre el pre-test y el post-test realizado con modelos muestra que la mayoría de los 15 estudiantes presentó una mejora en sus calificaciones, lo que se evidencia en el predominio de líneas con pendiente positiva. Únicamente dos (2) estudiantes experimentaron una disminución en su rendimiento: uno de manera leve y otro con una caída marcada en su calificación. A pesar de estos casos individuales, la línea de la media presenta una pendiente positiva, lo que confirma una tendencia general de mejoría en el grupo.

### 5.3.6. Análisis pre-post por recurso pedagógico entre los grupos

#### 5.3.6.1. SIN modelos moleculares físicos tridimensionales.

#### Figura 46

Comparación de las medias del post-test SIN modelos entre el grupo experimental y el grupo de control.



*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

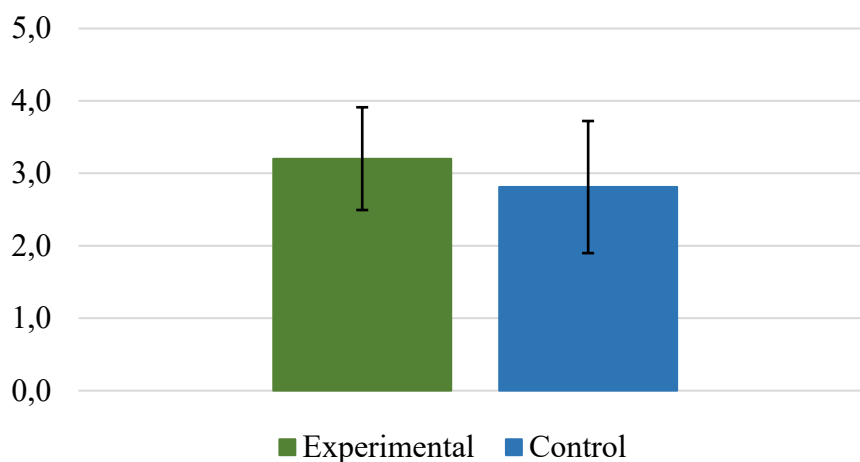
*Nota.* Autoría propia. Promedio de los puntajes obtenidos por el grupo experimental ( $3,08 \pm 0,88$ ) y el grupo de control ( $2,95 \pm 1,02$ ) en el post-test sin uso de modelos moleculares. Las barras representan el error estándar.

La comparación del desempeño entre el grupo experimental y el grupo de control en el post-test aplicado sin el uso de modelos moleculares se realizó mediante una prueba *t de Student* para muestras independientes, utilizando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Los resultados obtenidos indican que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos ( $t = 0,3822$ ;  $p = 0,7051$ ). El tamaño del efecto calculado ( $d = 0,14$ ) se clasifica como pequeño, lo que sugiere que la magnitud de la diferencia observada entre las medias es mínima y carece de relevancia práctica. En términos pedagógicos, este hallazgo evidencia que, tras la intervención, el desempeño de los estudiantes en la evaluación sin modelos fue equivalente, independientemente de haber pertenecido al grupo experimental o al de control. Esto implica que, para la resolución del examen sin apoyo de modelos moleculares, la experiencia de trabajo prolongado con modelos (propia del grupo experimental) no generó ventajas medibles frente al grupo que no los utilizó durante la instrucción.

Finalmente, la gráfica de barras con barras de error muestra que las desviaciones estándar de ambos grupos se superponen, lo que visualmente confirma la ausencia de diferencias claras y refuerza los resultados estadísticos.

**5.3.6.2. CON modelos moleculares físicos tridimensionales.****Figura 47**

Comparación de las medias del post-test CON modelos entre el grupo experimental y el grupo de control.



*Nota.* Autoría propia. Promedio de los puntajes obtenidos por el grupo experimental ( $3,20 \pm 0,71$ ) y el grupo de control ( $2,81 \pm 0,91$ ) en el post-test utilizando modelos moleculares tridimensionales. Las barras representan el error estándar.

La comparación del desempeño entre el grupo experimental y el grupo de control en el post-test con uso de modelos moleculares no mostró diferencias estadísticamente significativas. La prueba  $t$  arrojó un valor de  $p = 0,1899$ , lo cual es mayor al nivel de significancia convencional ( $\alpha = 0,05$ ). Esto indica que no existe evidencia suficiente para afirmar que el rendimiento promedio del grupo experimental difiera del grupo de control en esta evaluación específica.

El valor de  $t = 1,3422$  sugiere que la magnitud de la diferencia observada entre medias es baja en relación con la variabilidad dentro de los grupos. Sin embargo, el tamaño del efecto calculado ( $d = 0,49$ ) se ubica en el rango medio, lo cual sugiere que, aunque la diferencia no alcanza

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

significancia estadística, sí hay una tendencia hacia un mejor desempeño del grupo experimental cuando emplea los modelos moleculares. Esta tendencia, sin embargo, no alcanza la fuerza suficiente debido a la variabilidad de los datos o al tamaño de muestra.

Finalmente, la gráfica de barras con barras de error muestra que las desviaciones estándar de ambos grupos se superponen, lo que visualmente confirma la ausencia de diferencias claras y refuerza los resultados estadísticos.

En términos cuantitativos, la comparación entre los desempeños con y sin modelos indica una ligera tendencia a un mejor rendimiento cuando se incorpora el recurso tridimensional; sin embargo, este incremento no alcanza niveles estadísticamente significativos, como también se evidencia en la superposición de las barras de error en ambas condiciones. Este patrón sugiere que, aunque los modelos parecen generar una mejora pequeña y consistente, el estudio no cuenta con el tamaño de muestra suficiente para detectar efectos sutiles con una mayor potencia estadística. De hecho, en investigaciones previas se ha documentado que el uso de modelos tridimensionales puede favorecer la comprensión espacial y la estereoquímica, pero estos efectos suelen demostrarse con muestras más amplias que permiten identificar diferencias pequeñas o medianas con mayor precisión. En consecuencia, los resultados obtenidos en este trabajo no contradicen la literatura existente, sino que más bien apuntan a la necesidad de estudios con mayor número de participantes para establecer con mayor certeza la magnitud real del efecto de los modelos en el aprendizaje de estereoquímica en los estudiantes de la Escuela de Química.

### 5.3.7. *Análisis de la bitácora de observaciones en las sesiones*

El análisis cualitativo desarrollado en este estudio se fundamentó en la información registrada en la bitácora de observación elaborada durante las sesiones de intervención con ambos grupos. A partir de este material, se aplicó un proceso sistemático de codificación en *QDA Miner Lite\** con el propósito de identificar patrones recurrentes, comportamientos observables y elementos pedagógicos relevantes asociados al uso o ausencia de modelos moleculares tridimensionales. La codificación permitió organizar las observaciones en categorías analíticas previamente definidas en función de los objetivos del estudio, lo que facilitó la interpretación de las dinámicas de aula, las percepciones manifestadas por los estudiantes y las condiciones bajo las cuales se desarrollaron las actividades. Este enfoque cualitativo complementa el análisis cuantitativo presentado anteriormente, aportando una comprensión más profunda de los factores que influyeron en el proceso de aprendizaje y en la experiencia de los participantes durante la intervención.

Para el análisis cualitativo de la bitácora de campo se establecieron cinco categorías principales, construidas a partir de los patrones recurrentes identificados en las observaciones y en los registros de cada sesión. Cada categoría agrupa fragmentos de texto que representan fenómenos comunes durante el proceso de implementación de la intervención didáctica.

1. *Interacción con los modelos moleculares tridimensionales.* Esta categoría recoge las descripciones y comentarios relacionados con el uso directo de los modelos físicos, incluyendo el nivel de familiaridad de los estudiantes, las percepciones de utilidad, las dificultades operativas, el grado de interés generado y las reacciones positivas o negativas frente a su manipulación. Asimismo, incluye observaciones sobre la manera en que los estudiantes integraron los modelos en el desarrollo de los ejercicios propuestos.

\*QDA Miner Lite es una versión gratuita y simplificada del software de análisis cualitativo de datos de Provalis Research ([provalisresearch.com](http://provalisresearch.com)), diseñada para analizar documentos de forma organizada.

## MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

2. *Comprensión conceptual de la estereoquímica.* En esta categoría se agrupan fragmentos relacionados con avances, estancamientos o dificultades conceptuales manifestadas durante la resolución de actividades. Incluye referencias a la interpretación de proyecciones (Fischer y otras), la identificación de centros quirales, la asignación de configuraciones absolutas (*R/S*), y cualquier evidencia de procesos de comprensión, confusión o autorreconocimiento de logros conceptuales durante la sesión.

3. *Actitudes y percepciones de los estudiantes.* Esta categoría sintetiza las emociones y disposiciones afectivas observadas durante el trabajo en clase, tales como motivación, entusiasmo, frustración, desinterés, ansiedad o satisfacción. También recoge expresiones verbales y comportamientos que evidencian cómo vivieron los estudiantes la experiencia formativa y la relación que establecieron con la actividad propuesta.

4. *Condiciones de implementación.* Incluye todos los elementos logísticos, organizativos y contextuales que influyeron en el desarrollo de las sesiones, tales como la puntualidad, la disponibilidad de tiempo, la interacción con el docente acompañante, la lectura y uso de las guías, la gestión del espacio físico y cualquier factor externo que incidiera significativamente en la dinámica de trabajo.

5. *Dinámica del trabajo en la sesión.* Esta categoría agrupa las características propias de la interacción grupal: niveles de colaboración, distribución de roles, comunicación entre pares, grado de participación, comportamientos colectivos, estilos de trabajo y patrones de interacción que se mantuvieron o variaron a lo largo de la intervención. Permite comprender cómo las características sociales de cada grupo influyeron en la experiencia de aprendizaje.

**5.3.7.1. Categoría 1. Interacción con los modelos moleculares tridimensionales.** El registro cualitativo evidencia que la introducción de los modelos moleculares tridimensionales generó una respuesta inicial altamente positiva en los estudiantes del grupo experimental. Desde las primeras sesiones, varios estudiantes manifestaron emociones explícitas de entusiasmo ante la presencia de los modelos, describiéndose reacciones inmediatas como *“se emocionaron al ver los modelos moleculares”* o *“se veían entusiasmados”* (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E2 y E1). Este interés espontáneo sugiere que el recurso didáctico funcionó como un elemento motivador, capaz de captar la atención de los estudiantes y generar predisposición favorable hacia las actividades propuestas.

A lo largo de las sesiones, se observó que los estudiantes no solo mostraban curiosidad general por el material, sino que comenzaron a apropiarse progresivamente de su uso. Algunos estudiantes manipulaban los modelos incluso antes de avanzar en la lectura de las guías, anticipándose a las actividades; por ejemplo, se registró que *“al entregar los modelos moleculares los chicos se emocionaron, se veían entusiasmados”* y que un estudiante *“mientras leía la guía ya estaba construyendo modelos”* (Apéndice H– Sesión 2, Grupo E2 y Sesión 3, Grupo E1). Estas conductas reflejan un nivel de involucramiento activo que trasciende el simple uso instrumental del recurso, indicando comprensión del valor que los modelos podían aportar al desarrollo conceptual.

Asimismo, el análisis muestra que el uso de modelos permitió que los estudiantes comenzaran a optimizar su trabajo a través de estrategias propias. Se evidenció que, conforme avanzaban las sesiones, algunos estudiantes ya no construían la molécula completa, sino que se centraban únicamente en los elementos estructurales relevantes para resolver la pregunta, como el carbono quiral. Esto se observa, por ejemplo, en la forma en que varios estudiantes simplificaban

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

la construcción para agilizar el proceso de configuración absoluta. Aunque este tipo de decisiones no aparece explícitamente redactado en la bitácora, se desprende de múltiples observaciones sobre la familiaridad creciente con el recurso y la fluidez con la que lo utilizaban. Este comportamiento puede interpretarse como una señal de apropiación cognitiva del modelo, donde el recurso deja de ser un objeto novedoso y pasa a convertirse en una herramienta estratégica de apoyo al pensamiento químico.

También se documentaron dificultades iniciales en el uso de los modelos, especialmente en aspectos relacionados con la construcción de dobles y triples enlaces, como se evidencia cuando algunos estudiantes preguntaron “*cómo construir los dobles y triples enlaces*” (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E2). No obstante, tales dificultades se resolvieron rápidamente con la práctica y no parecen haber generado rechazo hacia el recurso. Al contrario, las preguntas indican que la interacción con los modelos despertaba la necesidad de comprender mejor su estructura, lo que constituye un indicador de compromiso cognitivo.

De forma general, la evidencia cualitativa sugiere que los modelos moleculares tridimensionales no solo fueron bien recibidos por los estudiantes, sino que favorecieron un ambiente de exploración activa, motivación y apropiación progresiva de estrategias de trabajo. La combinación de entusiasmo inicial, uso recurrente, formulación de preguntas y desarrollo de estrategias autónomas de simplificación constituye un patrón coherente con investigaciones previas que documentan el efecto positivo de los modelos físicos en la comprensión y el compromiso estudiantil.

**5.3.7.2. Categoría 2. Comprensión conceptual de la estereoquímica.** El registro cualitativo evidencia que la introducción de los modelos moleculares tridimensionales generó una respuesta inicial altamente positiva en los estudiantes del grupo experimental. Desde las primeras sesiones, varios estudiantes manifestaron emociones explícitas de entusiasmo ante la presencia de los modelos, describiéndose reacciones inmediatas como *“se emocionaron al ver los modelos moleculares”* o *“se veían entusiasmados”* (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E2 y E1). Este interés espontáneo sugiere que el recurso didáctico manipulativo funcionó como un elemento motivador, capaz de captar la atención de los estudiantes y generar predisposición favorable hacia las actividades propuestas.

El análisis de la bitácora evidencia que los estudiantes presentaban, al inicio de la intervención, dificultades conceptuales profundas y generalizadas respecto a los fundamentos esenciales de la estereoquímica. Las dudas más recurrentes se relacionaban con la naturaleza y representación de las diferentes proyecciones utilizadas en el curso, en particular, la proyección de Fischer, las fórmulas en perspectiva y la proyección de Haworth, esta última es una forma sencilla de representar la estructura cíclica de monosacáridos, donde el anillo se dibuja como un pentágono o hexágono plano y los grupos funcionales se colocan por encima o por debajo del plano del anillo; así como con la designación de configuraciones absolutas y la identificación de elementos estructurales clave como los carbonos quirales o los planos internos de simetría. Esto se observa en preguntas directas como *“¿Cuál es la proyección de Fischer?”*, *“¿Qué es la fórmula de perspectiva?”*, o *“¿Cuál era la de perspectiva (cuñas)?”* (Apéndice H – Sesión 1, Grupo E2, E1 y E3), que reflejan la presencia de vacíos conceptuales asociados a contenidos que debían ser abordados previamente en el curso de Química Orgánica I.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Una manifestación clara de estas dificultades iniciales fue la tendencia a representar incorrectamente la tridimensionalidad molecular. Un ejemplo ilustrativo se evidenció cuando un estudiante afirmó: «*Lo dibujo así porque la molécula es plana*» (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E2), a pesar de tratarse de un átomo  $sp^3$  cuya geometría tetraédrica había sido explicada desde la primera sesión. De forma similar, múltiples estudiantes continuaron dibujando cadenas carbonadas con ángulos de  $180^\circ$ , ignorando que los ángulos de enlace en sistemas  $sp^3$  se aproximan a  $109.5^\circ$ . También se registraron confusiones en torno a la hibridación, al observarse representaciones en las que algunos carbonos presentaban cinco o seis enlaces, un error grave que sugiere fallas en conocimientos básicos adquiridos en cursos anteriores.

Las dificultades se extendieron a otros conceptos estructurales fundamentales; varios estudiantes desconocían la existencia de moléculas *meso*, la presencia de planos internos de simetría, o las diferencias entre enantiómeros y diastereoisómeros, interrogantes que surgieron repetidamente durante las sesiones. Asimismo, la interpretación de las proyecciones de Haworth resultó particularmente desafiante, como se registró en expresiones de desconcierto y solicitudes reiteradas de aclaración. Otro foco de dificultad se relacionó con la configuración absoluta (*R/S*): algunos estudiantes asignaban quiralidad a carbonos con dobles enlaces o se confundían respecto al rol del hidrógeno en el ordenamiento de prioridades, e incluso preguntaban *qué significaba la posición de las cuñas y si la cuña “negrita” debía ir hacia adelante o hacia atrás* (Apéndice H – Sesión 3, Grupo E3).

A pesar de estas dificultades iniciales, el avance conceptual durante la intervención fue notorio y progresivo. Se observaron mejoras en la interpretación y uso de las proyecciones de Fischer, así como un mayor dominio en la representación tridimensional correcta de las moléculas. En particular, una estudiante manifestó que *“con la configuración de Fischer me parece más fácil*

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

*realizar la configuración absoluta*” (Apéndice H – Sesión 4, Grupo E3), lo que sugiere no solo comprensión, sino también apropiación estratégica del recurso representacional. Asimismo, como se mencionó anteriormente (página 147), varios estudiantes comenzaron a optimizar el uso de los modelos, centrándose en los elementos estructurales relevantes como el carbono quiral y su entorno inmediato sin necesidad de reconstruir toda la molécula, lo cual evidencia un avance desde un uso inicial rígido hacia un manejo más analítico y funcional del recurso.

No obstante, hacia el final del proceso persistieron vacíos conceptuales significativos en ciertos estudiantes. Esto se refleja en preguntas realizadas durante las últimas sesiones, como “*¿Qué es la actividad óptica, es lo del giro?*” (Apéndice H – Sesión 6, Grupo E2), a pesar de que este contenido había sido abordado previamente en la Guía II. Esta recurrencia puede interpretarse como un indicador de que, aunque se observan progresos claros en la comprensión de las técnicas de representación y de ciertas nociones estereoquímicas, aún subsisten dificultades en la integración conceptual más profunda, particularmente en lo relacionado con las propiedades físicas de los enantiómeros y diastereoisómeros.

En conjunto, esta categoría evidencia un comportamiento heterogéneo del aprendizaje; mientras algunos estudiantes lograron avances sólidos en la comprensión de la tridimensionalidad y la designación estereoquímica, otros mantuvieron vacíos persistentes incluso en conceptos básicos. Esto resalta la necesidad de estrategias instruccionales más diferenciadas, un acompañamiento conceptual más sostenido y un mayor tiempo pedagógico dedicado a las bases representacionales de la estereoquímica.

**5.3.7.3. Categoría 3. Actitudes y percepciones de los estudiantes.** El análisis cualitativo evidencia que las actitudes y percepciones de los estudiantes variaron de manera importante entre

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

sesiones y entre grupos, configurando un panorama heterogéneo respecto a su disposición, emociones y niveles de involucramiento frente a las actividades propuestas. Desde las primeras sesiones del diagnóstico, se observaron expresiones de desinterés y reserva. En el grupo E2, por ejemplo, algunos estudiantes se mostraron reacios a participar y mantuvieron una actitud distante; uno de ellos incluso se dedicó a revisar su celular en medio de la actividad, mientras que otro *“se levantó de su asiento cuando terminó y se puso a hablar con su compañero sin haber terminado el tiempo del examen”* (Apéndice H – Sesión 1, Grupo E2). En el grupo E1, la dinámica inicial fue similar: los estudiantes se mostraban *“muy callados”* (Apéndice H – Sesión 1, Grupo E1), evitaban interactuar entre sí y respondían de forma mínima cuando se les preguntaba directamente. En general, estas percepciones iniciales sugieren una baja motivación y un distanciamiento afectivo hacia el desarrollo del diagnóstico.

Sin embargo, la llegada de los modelos moleculares en el grupo experimental produjo un cambio significativo en las emociones expresadas. En el grupo E2 se registró que *“al entregar los modelos moleculares los chicos se emocionaron, se veían entusiasmados”* (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E2), mientras que en el grupo E1, aun siendo un grupo caracterizado por la timidez, se observó que *“los chicos se vieron emocionados con los modelos moleculares”* (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E1). Estas reacciones positivas indican que la incorporación del recurso didáctico manipulativo generó interés, curiosidad y mayor disposición hacia el aprendizaje. Pese a esto, no todos los estudiantes respondieron de la misma manera: una estudiante del grupo E1 permaneció indiferente, *“se la pasaba en el celular”* (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E1), mostrando un nivel bajo de compromiso, incluso en presencia del recurso didáctico.

A lo largo de las sesiones, también se evidenciaron emociones vinculadas al esfuerzo y al deseo de mejora. En varios momentos se registró que los estudiantes *“mostraron interés por*

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

*aprender y mejorar*” (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E1), especialmente cuando se les corregían errores o se les explicaban conceptos complejos. En el grupo E3, por ejemplo, pese a haber sido asignados al grupo de control y no trabajar con modelos, los estudiantes expresaron motivación, disposición colaborativa y apertura hacia la resolución de dudas, incluso manifestando incomodidad por no haber sido seleccionados para el uso del recurso: *“los chicos se sintieron mal, ya que ellos no fueron seleccionados para utilizar los modelos moleculares; a pesar de eso mostraron una buena disposición por aprender”* (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E3). Esta reacción revela que la percepción del recurso como un apoyo valioso trascendió incluso al grupo que no lo utilizó directamente, lo que sugiere una valoración positiva del método.

Con el avance de las sesiones y el aumento de la carga académica, también emergieron percepciones negativas relacionadas con el cansancio y la presión del curso. En el grupo E1, durante las últimas semanas, algunos estudiantes reaccionaron con molestia frente al anuncio del examen final: *“se les comentó que en un mes se les realizaría la última evaluación y la mayoría lo tomaron con fastidio, haciendo mala cara”* (Apéndice H – Sesión 5, Grupo E1). Asimismo, durante la aplicación del examen final con modelos, algunos manifestaron frustración o resistencia inicial, como cuando *“al iniciar la evaluación con los modelos, algunos empezaron a mirar mal, torciendo los ojos”* (Apéndice H – Sesión 6, Grupo E1). Estas reacciones pueden estar vinculadas a la acumulación de responsabilidades propias del semestre y no necesariamente a la intervención en sí misma, pero forman parte del clima emocional observado.

Finalmente, también se evidenciaron actitudes de apoyo, interés por el proceso investigativo y reconocimiento al valor de la experiencia. En el grupo E3, por ejemplo, varios estudiantes expresaron empatía y acompañamiento hacia la investigadora, preguntando *“cómo va el trabajo de grado”* (Apéndice H – Sesión 6, Grupo E3) y reconociendo que les había resultado útil participar

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

en el proyecto. En el grupo E2, al finalizar, se registró que “*se veían satisfechos de haber colaborado con la recolección de los datos*” (Apéndice H – Sesión 6, Grupo E2), lo que refleja una percepción positiva hacia la experiencia brindada durante esta investigación.

En general, la categoría muestra una fuerte variabilidad emocional entre grupos y entre estudiantes. Se identifican desde actitudes de apatía, distracción y desinterés, hasta expresiones claras de motivación, entusiasmo y apoyo. Estas actitudes desempeñan un papel central en la forma en que los estudiantes se relacionaron con la intervención y con los contenidos, condicionando en cierta medida tanto el ritmo de las actividades como el tipo de interacciones que emergieron en cada sesión.

Es importante señalar que, desde el inicio de la intervención, se informó explícitamente a los participantes que **las actividades desarrolladas no tendrían incidencia directa en la nota del curso**, dado que su participación tenía un carácter formativo y colaborativo dentro del proyecto investigativo. Esta condición, aunque garantizó un ambiente libre de presión evaluativa, pudo influir en los niveles de compromiso observados en algunos momentos, particularmente en conductas asociadas a la distracción, la baja participación o la ausencia de preparación previa. En este sentido, la ausencia de una evaluación sumativa formal parece haber reducido la motivación extrínseca que usualmente estructura las dinámicas académicas del curso, aspecto que podría estar relacionado con los resultados obtenidos en las encuestas de satisfacción, los cuales se desarrollan en el apartado siguiente.

**5.3.7.4. Categoría 4. Condiciones de implementación.** Las condiciones de implementación de la estrategia evidenciaron diversos factores contextuales y organizativos que influyeron en el desarrollo de las sesiones y en la disposición de los estudiantes frente a las

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

actividades propuestas. Uno de los aspectos más recurrentes fue la impuntualidad progresiva de algunos estudiantes, la cual se acentuó a medida que avanzaban las sesiones. Mientras que en las primeras clases los retrasos eran mínimos, posteriormente se registraron llegadas tardías de mayor duración, lo que afectó el inicio oportuno de las actividades y la dinámica general del grupo. En la bitácora se consignan situaciones como *“para la realización del quiz la mayoría llegaron puntuales a excepción de una chica que llegó tarde”* y, en sesiones posteriores, *“dos chicos llegaron tarde”* (Apéndice H – Sesión 4, Grupo E2 y Sesión 5, Grupo E1 y E3), lo que evidencia una reiteración de este comportamiento.

Asimismo, se observaron dificultades relacionadas con la disposición y el compromiso durante las sesiones, manifestadas en conductas como el uso del celular, conversaciones ajenas a la actividad académica o desplazamientos innecesarios dentro del aula, incluso durante evaluaciones. Un registro que ilustra esta situación señala que *“una chica se la pasaba en el celular, era indiferente”*, mientras que en otro momento se consigna que *“un chico sacó el celular luego de terminar el examen”* (Apéndice H – Sesión 2, Grupo E1 y Sesión 1, Grupo E2), lo que refleja una falta de apropiación del espacio académico en algunos estudiantes.

Otro elemento relevante fue la dependencia de la presencia del docente titular del curso, particularmente evidente en el grupo E1. En varias sesiones se observó que los estudiantes no iniciaban las actividades de manera autónoma y esperaban indicaciones explícitas o la llegada de la profesora encargada del laboratorio, aun cuando se les había informado previamente que la sesión podía comenzar con la investigadora de este trabajo. Esta situación se evidencia en registros como *“los chicos llegaron a la entrada del laboratorio, pero no ingresaron hasta que llegó la profesora”*\* (Apéndice H – Sesión 4, Grupo E1), lo cual incidió en la gestión del tiempo disponible para la implementación de la estrategia.

\*Los estudiantes no pueden estar solos en el laboratorio, el supervisor siempre debe estar presente  
*Regla de la Escuela de Química*

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

En relación con el acompañamiento docente, se constató que la participación de los profesores encargados del laboratorio fue limitada durante la mayoría de las sesiones, restringiéndose principalmente a la supervisión general del espacio. Solo en una ocasión se registró una intervención directa con el propósito de fomentar la participación del grupo, como se indica en la bitácora: *“la docente encargada del laboratorio intentó ayudar para que ellos interactuaran más, sin embargo, siguieron igual de callados”* (Apéndice H – Sesión 3, Grupo E1). Esto implicó que la organización, explicación y seguimiento de las actividades recayeran casi exclusivamente en la investigadora de este trabajo.

Finalmente, el espacio y el tiempo asignados para la intervención también condicionaron su desarrollo. Al tratarse de sesiones realizadas durante el laboratorio, varios estudiantes mostraron mayor preocupación por las prácticas correspondientes a la asignatura que por las actividades de la guía, como se registra en *“estaban más concentrados en lo que realizarían en el laboratorio que en la realización de las actividades”* (Apéndice H – Sesión 4, Grupo E2). Esta situación, sumada a la percepción de algunos estudiantes sobre la frecuencia de las evaluaciones expresada en comentarios como *“¿por qué tantas evaluaciones siempre?”* (Apéndice H – Sesión 6, Grupo E1), pone de manifiesto que las condiciones logísticas y temporales influyeron en la forma en que los estudiantes asumieron la estrategia implementada.

**5.3.7.5. Categoría 5. Dinámica de trabajo en las sesiones.** La dinámica de trabajo durante las sesiones mostró diferencias marcadas entre los grupos experimentales y de control, asociadas principalmente a las características de interacción, participación y colaboración entre los estudiantes. Estas dinámicas influyeron de manera directa en el desarrollo de las actividades y en la apropiación de la estrategia basada en el uso de modelos moleculares.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

En el grupo E1 se evidenció una dinámica predominantemente reservada e introvertida. A lo largo de las sesiones, los estudiantes mantuvieron una interacción limitada entre sí, con escasa comunicación verbal y poca iniciativa para participar activamente en las actividades propuestas. En la bitácora se registraron observaciones como “se ve que no hay interacción entre ellos... son muy callados” y “el grupo sigue siendo callado e introvertido” (Apéndice H – Sesión 1 y 5, Grupo E1). A pesar del transcurso de las sesiones, esta dinámica se mantuvo relativamente constante, sin observarse una apertura progresiva hacia el trabajo colaborativo, lo cual pudo haber limitado los espacios de discusión y construcción conjunta del conocimiento.

El grupo E2 presentó una dinámica intermedia. Si bien inicialmente se comportó de manera reservada, con el avance de las sesiones se observó una mayor interacción entre los estudiantes, quienes conversaban entre ellos, compartían dudas puntuales y mostraban momentos de distensión. En la bitácora se consignaron apreciaciones como “*tuvieron una actitud reservada*” y “*se sienten más sueltos, conversan más que al inicio*” (Apéndice H – Sesión 1 y 6, Grupo E2). Esta dinámica permitió cierta cooperación durante las actividades, aunque sin alcanzar un nivel sostenido de colaboración profunda.

Por su parte, el grupo E3 se caracterizó por una dinámica altamente participativa y colaborativa desde las primeras sesiones. Los estudiantes mostraron interés constante por las actividades, realizaron preguntas frecuentes sobre el desarrollo de la sesión y se apoyaron mutuamente durante la resolución de las guías y evaluaciones. En la bitácora se registraron expresiones como “*es un grupo demasiado alegre y colaborativo*”, “*todos ayudan a todos*” y “*me colaboraron con la organización*” (Apéndice H – Sesión 2 y 6, Grupo E3). En este grupo, los estudiantes que comprendían con mayor rapidez los conceptos explicaban a sus compañeros,

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

favoreciendo la circulación del conocimiento dentro del grupo sin que la intervención dependiera exclusivamente de la guía externa.

Esta dinámica colaborativa observada en el grupo E3 (grupo de control) parece haber favorecido la comprensión de los contenidos abordados, en comparación con los grupos donde predominó el trabajo individual o la interacción limitada lo que explica en parte los resultados descritos en la **sección 5.3**. Los hallazgos sugieren que, además del aprendizaje activo promovido por el uso de modelos moleculares, el aprendizaje colaborativo desempeñó un papel relevante en la apropiación de los conceptos de estereoquímica. Tal como se evidenció durante las sesiones, el hecho de explicar a otros y discutir las representaciones moleculares contribuyó a consolidar la comprensión conceptual, reforzando la idea de que la construcción del conocimiento no ocurre únicamente de manera individual, sino también a través de la interacción social.

En general, el ambiente de trabajo durante las sesiones fue adecuado, aunque con diferencias claras entre los grupos. Estas diferencias en la dinámica grupal permiten comprender mejor los resultados obtenidos y resaltan la importancia de considerar no solo la estrategia didáctica implementada, sino también las condiciones sociales y relacionales en las que se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje.

#### ***5.3.8. Análisis de las encuestas de satisfacción***

Para evaluar la percepción de los estudiantes sobre las metodologías empleadas en la enseñanza de la estereoquímica, se aplicaron encuestas de satisfacción al grupo experimental (n=16), que utilizó modelos moleculares físicos tridimensionales, y al grupo de control (n=15), que trabajó con la metodología tradicional. Se obtuvieron 15 respuestas en el grupo experimental y 8

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

en el grupo de control (Apéndice I). A pesar de esta diferencia en el número de participantes, ambas encuestas aportan información relevante sobre la experiencia de los estudiantes y permiten identificar tendencias claras en sus percepciones.

Las encuestas contenían preguntas tipo Likert y preguntas abiertas. La mayoría de los ítems estaban redactados de manera equivalente entre ambos instrumentos, con cambios únicamente en la referencia a la estrategia empleada (“recurso de aprendizaje” en el grupo experimental y “metodología utilizada” en el grupo de control). Sin embargo, algunas preguntas fueron exclusivas de uno de los dos grupos o presentaron diferencias de sentido. Para garantizar la rigurosidad del análisis comparativo, se elaboró una tabla de equivalencias que identifica qué ítems pueden ser analizados de manera conjunta y a qué dimensión evaluativa corresponde cada uno (**Tabla 2**).

**Tabla 2**

*Equivalencia de las preguntas entre el grupo experimental y el grupo de control, y dimensiones evaluadas.*

Nº	Ítem grupo experimental	Ítem grupo control	Equivalencia	Dimensión
1	El recurso es una estrategia innovadora dentro de la Escuela de Química.	La metodología utilizada es innovadora dentro de la Escuela de Química.	Sí	Innovación y adecuación pedagógica
2	El recurso se adapta a mi edad y nivel de desarrollo académico.	La metodología utilizada se adapta a mi edad y nivel de desarrollo académico.	Sí	Innovación y adecuación pedagógica
3	El recurso constituye una alternativa didáctica frente a las clases tradicionales.	—	No aplicable (solo en experimental)	Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

4	El recurso favorece mi comprensión de los conceptos de estereoquímica.	La metodología utilizada favorece mi comprensión de los conceptos de estereoquímica.	Sí	Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica
5	El recurso promueve el aprendizaje activo.	La metodología utilizada promueve el aprendizaje activo.	Sí	Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica
6	El recurso anima a pensar críticamente y mejorar la capacidad de análisis.	La metodología utilizada anima a pensar críticamente y mejorar la capacidad de análisis.	Sí	Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica
7	Las actividades realizadas me brindaron una experiencia de aprendizaje interesante.	Las actividades realizadas me brindaron una experiencia de aprendizaje interesante.	Sí	Participación, motivación y compromiso
8	El recurso me resultó atractivo y emocionante.	La metodología utilizada me resultó atractiva y emocionante.	Sí	Participación, motivación y compromiso
9	El recurso motivó mi aprendizaje de estereoquímica.	La metodología utilizada motivó a aprender estereoquímica.	Sí	Participación, motivación y compromiso
10	El recurso fomentó mi participación durante las actividades.	La metodología utilizada fomentó mi participación durante las actividades.	Sí	Participación, motivación y compromiso
11	Me sentí concentrado(a) y comprometido(a) durante las sesiones.	Me sentí concentrado(a) y comprometido(a) durante las sesiones.	Sí	Participación, motivación y compromiso
12	Me aburrí las actividades con el recurso.	Me aburrí las actividades con la metodología utilizada.	Sí	Participación, motivación y compromiso
13	El recurso es fácil de usar.	—	No aplicable (solo en experimental)	Usabilidad y experiencia

MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

14	Recomendaría este recurso a otros estudiantes.	Recomendaría la metodología utilizada a otros estudiantes.	Sí	Recomendación y proyección futura
15	Prefiero este tipo de recursos frente a métodos tradicionales.	Prefiero metodologías tradicionales frente al uso de recursos innovadores.	No equivalente (sentido invertido)	Recomendación y proyección futura
16	Deberían implementarse más recursos similares en Química Orgánica.	—	No aplicable	Usabilidad y experiencia
17	Deberían implementarse más recursos similares en la Escuela de Química.	—	No aplicable	Usabilidad y experiencia
18	He tenido experiencias previas con estereoquímica.	He tenido experiencias previas con estereoquímica.	Sí	Participación, motivación y compromiso
19	Estudí previamente para las actividades evaluativas.	Estudí previamente para las actividades evaluativas.	Sí	Participación, motivación y compromiso
20	Los modelos me ayudaron a desarrollar mi habilidad para visualizar moléculas en 3D.	Considero que las guías y actividades realizadas me ayudaron a desarrollar mi habilidad para visualizar moléculas en 3D.	Parcialmente equivalente (fuente del aprendizaje distinta)	Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica
—	Pregunta abierta: ¿Qué aspectos del recurso de aprendizaje le gustaron más?	Pregunta abierta: ¿Qué aspectos de la metodología utilizada le gustaron más?	No	Recomendación y proyección futura
—	Pregunta abierta: ¿Qué aspectos considera que podrían mejorarse?	Pregunta abierta: ¿Qué aspectos considera que podrían mejorarse?	Si	Recomendación y proyección futura

— —	Pregunta abierta: ¿Ha tenido alguna experiencia utilizando modelos moleculares físicos tridimensionales? ¿De qué manera cree que podrían facilitar su comprensión de los conceptos de estereoquímica?	No	Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica
-----	---	----	---

*Nota.* Las preguntas marcadas como “no aplicable” corresponden a ítems exclusivos de uno de los grupos. La categoría “equivalencia parcial” indica que, aunque los enunciados difieren en su fuente de aprendizaje (recurso *vs.* metodología tradicional), evalúan la misma dimensión conceptual.

**5.3.8.1. Innovación y adecuación pedagógica.** Esta dimensión considera simultáneamente la percepción de los estudiantes sobre el carácter innovador de la estrategia utilizada y su pertinencia con respecto al nivel de formación de quienes participaron en el estudio. En el grupo experimental, que trabajó con modelos moleculares físicos tridimensionales, las respuestas fueron ampliamente positivas, la mayoría de los estudiantes (20% parcialmente de acuerdo y 73,3% totalmente de acuerdo) percibió esta estrategia como innovadora dentro del contexto de la Escuela de Química y, además, consideró que se ajustaba adecuadamente a su edad y nivel académico (100%). Este resultado refleja que la incorporación de un recurso poco habitual en el aula (como los modelos moleculares físicos tridimensionales) genera en los estudiantes la sensación de novedad pedagógica y relevancia didáctica, lo que posiblemente contribuye a una mayor apertura y disposición hacia el aprendizaje.

En el grupo de control, que trabajó con la metodología tradicional, la percepción fue también favorable, pero en menor medida (50% parcialmente de acuerdo y 37,5% totalmente de acuerdo). Aunque más de la mitad de los estudiantes valoró positivamente la adecuación de la metodología

### *MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

a su nivel de formación, la idea de innovación resultó menos evidente, con un porcentaje de 12,5% que manifestó indiferencia frente a esta afirmación. Esta respuesta sugiere que, para algunos estudiantes, la metodología tradicional no representa una propuesta novedosa dentro del curso, sino más bien una forma de trabajo ya conocida y esperada, lo cual limita su impacto en términos de innovación percibida.

En términos generales, ambos grupos coincidieron en que las estrategias empleadas se ajustan adecuadamente a su nivel académico, sin embargo, la percepción de innovación fue mayor en el grupo experimental. Este contraste pone en evidencia el potencial de los modelos moleculares tridimensionales para diversificar y actualizar las prácticas de enseñanza en estereoquímica, ofreciendo a los estudiantes una experiencia más novedosa y estimulante que la metodología tradicional.

**5.3.8.2. Utilidad para el aprendizaje de la estereoquímica.** La dimensión de utilidad para el aprendizaje busca determinar en qué medida la metodología empleada por cada grupo favoreció la comprensión de los conceptos de estereoquímica, el aprendizaje activo, el razonamiento analítico y la visualización tridimensional de moléculas.

En el grupo experimental, los resultados muestran una valoración altamente favorable del uso de modelos moleculares físicos tridimensionales. El 93,3% de los estudiantes consideró que estos constituyen una alternativa didáctica pertinente frente a las clases tradicionales, mientras que el 86,7% afirmó que el recurso facilitó de manera significativa la comprensión de los contenidos conceptuales. Adicionalmente, cerca del 93,3% manifestó que el uso de los modelos promovió un aprendizaje más activo y analítico. Aunque se observaron respuestas aisladas en desacuerdo (entre el 6,7% y el 13,3%, dependiendo del ítem), estas corresponden a casos puntuales que podrían

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

reflejar diferencias individuales en las preferencias y estilos de aprendizaje. Pese a ello, la tendencia general es marcadamente positiva.

El grupo de control también reportó percepciones favorables hacia la metodología tradicional, aunque con menor consistencia. Entre el 71% y el 87,5% de los estudiantes señalaron que esta les permitió comprender adecuadamente los contenidos trabajados. No obstante, en comparación con el grupo experimental, se evidenció un mayor número de respuestas indiferentes (entre el 12,5% y el 25%), particularmente en los ítems relacionados con aprendizaje activo y motivación, lo cual sugiere que la metodología tradicional, si bien funcional, no genera un impacto tan pronunciado como el observado en el uso de modelos moleculares.

La diferencia más marcada entre los dos grupos se observó en la visualización tridimensional. Mientras que en el grupo experimental el 66,7% de los participantes destacó que estuvieron totalmente de acuerdo que los modelos facilitaron esta capacidad, en el grupo de control las respuestas fueron en menor medida (12,5%). Esta tendencia se confirmó en la pregunta abierta, donde varios estudiantes indicaron que el uso de modelos tridimensionales podría ayudarles a *“visualizar mejor conformaciones”*, *“representar estructuras con mayor claridad”* o *“modelar moléculas que resultan difíciles de entender en dos dimensiones”*. Incluso quienes no habían utilizado previamente este tipo de recurso reconocieron su potencial formativo, aunque un estudiante mencionó haber tenido dificultades en una experiencia pasada, lo cual sugiere que la eficacia del recurso puede depender de la familiaridad y el acompañamiento pedagógico.

En síntesis, la evidencia sugiere que la percepción de los estudiantes sobre la utilidad del uso de modelos moleculares físicos tridimensionales es superior al de la metodología tradicional, particularmente en comprensión conceptual, participación activa y visualización espacial. Aunque

la metodología tradicional continúa siendo efectiva para los estudiantes del grupo de control, estos reconocen que la incorporación de modelos tridimensionales podría enriquecer su proceso de aprendizaje y facilitar la comprensión de contenidos que, por su naturaleza, requieren habilidades espaciales complejas.

**5.3.8.3. Participación, motivación y compromiso.** Esta dimensión examina el grado en que las metodologías empleadas promovieron interés, motivación, participación activa y compromiso durante las actividades del proyecto. Incluye los ítems relacionados con el carácter interesante y atractivo de las actividades, la motivación para aprender estereoquímica, la participación durante las sesiones, el nivel de concentración y compromiso, la presencia de aburrimiento como reacción inversa y los ítems asociados a preparación previa e implicación personal.

En el grupo experimental, los resultados muestran una percepción ampliamente positiva del recurso en términos motivacionales. Más del 80% de los estudiantes indicó que las actividades fueron interesantes y atractivas, y porcentajes similares señalaron que estas incrementaron su motivación por aprender estereoquímica. Aunque se registraron respuestas indiferentes en algunos ítems (entre el 13% y el 20%), estas no alteran la tendencia general, que apunta a que el uso de modelos moleculares generó un ambiente de mayor involucramiento emocional y académico. En relación con la participación, los estudiantes expresaron niveles variados de acuerdo, si bien la mayoría (80%) valoró positivamente la oportunidad de interactuar con el recurso, también se observaron respuestas que oscilan hacia la indiferencia o el desacuerdo. Esto es coherente con los hallazgos cualitativos registrados en las bitácoras, donde se reportó que el grupo experimental se caracterizó por una participación verbal más reservada, posiblemente asociada a factores de personalidad más que a la metodología en sí.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

El ítem inverso, “*Me aburríeron las actividades con el recurso*”, confirma esta tendencia positiva, cerca del 80% estuvo en desacuerdo o totalmente en desacuerdo, lo cual indica que el uso de modelos tridimensionales mantuvo el interés de la mayoría de los participantes. Únicamente un caso aislado manifestó cierto nivel de acuerdo, lo que sugiere la presencia de diferencias individuales en la forma en que los estudiantes responden a actividades didácticas manipulativas o a cambios metodológicos.

En contraste, el grupo de control presentó percepciones más moderadas. Aunque la mayoría de los estudiantes expresó que las actividades fueron interesantes y motivadoras, estas respuestas se ubicaron principalmente en la categoría de parcialmente de acuerdo (75%), lo cual sugiere una experiencia positiva, pero no destacada. Esto coincide con la familiaridad previa que los estudiantes tienen con la metodología tradicional, percibida como rutinaria o esperada, por ello no sorprende que en varios ítems emergiera un número mayor de respuestas indiferentes, especialmente en lo relativo a la participación y el compromiso. Adicionalmente, en la pregunta inversa sobre aburrimiento aparecieron casos de totalmente de acuerdo (12,5%), lo que refleja que la metodología tradicional no siempre logra mantener un nivel de interés sostenido.

En cuanto al compromiso personal, ambos grupos reportaron niveles heterogéneos de estudio y preparación previa. En el caso del grupo experimental, las respuestas estuvieron particularmente dispersas, con estudiantes que admitieron no haber estudiado (40%) y otros que sí realizaron cierta preparación (53,3%). Esto concuerda con los resultados obtenidos en las evaluaciones, donde se observó un desempeño general positivo en el experimental, incluso sin preparación intensiva, posiblemente debido al apoyo cognitivo que brindan los modelos moleculares. En el grupo de control, también se evidenció una mezcla de acuerdo (37,5%), indiferencia (50%) y desacuerdo

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

(12,5%) respecto al estudio previo, lo que sugiere que la falta de preparación no es un fenómeno exclusivo de un grupo, sino un rasgo común en ambos cursos.

En general, los resultados muestran que el uso de modelos moleculares físicos contribuyó de manera más clara a incrementar el interés, la motivación y, en menor medida la participación activa en comparación con la metodología tradicional. Mientras que el grupo control experimentó la clase como adecuada pero habitual, el grupo experimental percibió las sesiones como más novedosas, atractivas y estimulantes. No obstante, variables individuales asociadas a la personalidad y a los hábitos de estudio influyeron en el nivel de participación y compromiso en ambos grupos, lo que destaca la importancia de considerar factores internos, además de la metodología empleada.

**5.3.8.4. Usabilidad y experiencia.** Esta dimensión evalúa la facilidad de uso del recurso, la percepción general de la experiencia y la disposición de los estudiantes a que este tipo de herramientas se implemente de forma más amplia dentro del curso y la Escuela de Química. Incluye los ítems 13, 16 y 17, correspondientes exclusivamente al grupo experimental, dado que solo este grupo trabajó con modelos moleculares físicos tridimensionales.

Los resultados evidencian una aceptación prácticamente unánime del recurso. En el ítem referente a la facilidad de uso, el 100% de los estudiantes expresó estar de acuerdo, distribuyéndose entre parcialmente (33,3%) y totalmente de acuerdo (66,7%), con predominio absoluto de esta última categoría. Esto sugiere que los modelos no representaron una barrera técnica ni cognitiva, sino que, por el contrario, fueron percibidos como herramientas intuitivas y accesibles, incluso para estudiantes sin experiencia previa en su manipulación. La ausencia de respuestas negativas o indiferentes refleja que la usabilidad del recurso no generó dificultades y que su incorporación no exigió un esfuerzo adicional que pudiera interferir en el proceso de aprendizaje.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

En cuanto a la percepción general de la experiencia y la disposición de los estudiantes, las respuestas muestran una valoración altamente favorable. El 100% de los estudiantes estuvo totalmente de acuerdo con que deberían implementarse más recursos de este tipo en el curso de Química Orgánica. Asimismo, el 93,3% estuvo totalmente de acuerdo en que este tipo de herramientas debería extenderse a la Escuela de Química, mientras que el 6,7% restante manifestó estar parcialmente de acuerdo. Estos resultados revelan una disposición generalizada hacia la continuidad y expansión del uso de modelos moleculares físicos, lo cual indica no solo satisfacción con la experiencia concreta, sino también reconocimiento explícito del valor pedagógico del recurso a mediano y largo plazo.

La unanimidad observada en estos ítems sugiere que los modelos no fueron percibidos únicamente como un apoyo eventual, sino como un elemento cuya presencia debería consolidarse dentro de la enseñanza universitaria, dado su potencial para facilitar la comprensión, el interés y la interacción del estudiante con los contenidos abstractos de la estereoquímica. Aunque es claro que no todos los estudiantes comparten el mismo estilo de aprendizaje, los resultados indican que la incorporación de recursos didácticos manipulativos amplía las oportunidades formativas y favorece contextos de aprendizaje más activos e inclusivos. Para varios estudiantes, la experiencia con modelos representó una alternativa significativa frente a metodologías centradas exclusivamente en lecturas, explicaciones y actividades guiadas, las cuales, si bien funcionales, pueden limitar la motivación o el involucramiento de algunos perfiles estudiantiles.

**5.3.8.5. Recomendación y proyección futura.** Esta dimensión examina la disposición de los estudiantes a recomendar la estrategia didáctica utilizada, así como su percepción sobre la continuidad, mejora o expansión futura de este tipo de metodologías. Incluye los ítems con matices importantes en su interpretación y las preguntas abiertas sobre los aspectos que más gustaron y

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

aquellos que podrían mejorarse. El análisis conjunto permite identificar tanto la valoración general de los estudiantes como las necesidades y expectativas que expresan respecto a sus procesos de aprendizaje.

En el ítem relativo a la recomendación de la metodología, ambos grupos manifestaron una valoración favorable. En el grupo experimental, el 100% de los estudiantes recomendaría el uso de modelos moleculares, con un 86,7% ubicándose en la categoría totalmente de acuerdo. Este resultado evidencia una aceptación sólida, no solo del recurso en sí, sino también de su capacidad para apoyar la comprensión conceptual, facilitar la visualización tridimensional y generar una experiencia formativa significativa. En el grupo de control también se alcanzó un 100% de acuerdo; no obstante, los porcentajes de quienes estuvieron parcialmente de acuerdo y totalmente de acuerdo se distribuyeron de manera equitativa, lo que sugiere una valoración positiva, pero menos entusiasta, posiblemente influenciada por la familiaridad con la metodología tradicional y la ausencia de elementos innovadores que despertaran mayor motivación o interés.

El ítem 15, aunque no es equivalente entre los grupos, aporta información complementaria. En el grupo experimental, la mayoría (53,3% totalmente de acuerdo y 40% parcialmente de acuerdo) manifestó preferencia por recursos de aprendizaje innovadores frente a métodos tradicionales. En contraste, en el grupo de control la dispersión de respuestas fue mayor y no señaló una tendencia concluyente hacia uno u otro enfoque, con 12,5% totalmente en desacuerdo; 12,5% parcialmente en desacuerdo; 50% parcialmente de acuerdo y 25% totalmente de acuerdo. Esta diferencia reafirma que la experiencia concreta con los modelos moleculares influyó positivamente en la preferencia del grupo experimental, mientras que el grupo de control, sin haberlos utilizado, no construyó una postura definida frente a su potencial.

### MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA

Las preguntas abiertas amplían y matizan estas interpretaciones. En el grupo experimental, los estudiantes destacaron como aspectos más valorados la posibilidad de manipular y construir modelos tridimensionales, la visualización clara de conceptos como quiralidad, configuraciones absolutas y proyecciones de Fischer, así como la relación entre teoría y práctica articulada mediante las guías de trabajo. Los participantes señalaron que los modelos les permitieron “*estructurar la idea que no se tenía*”, fortalecer la comprensión espacial y experimentar una dinámica de trabajo más activa y didáctica. Además, valoraron el acompañamiento docente, la orientación constante y la apertura para resolver dudas.

En cuanto a los aspectos por mejorar, las respuestas del grupo experimental se concentraron en torno a dos elementos principales: el tiempo disponible y el espacio físico. Una proporción significativa de estudiantes manifestó que las sesiones resultaron demasiado cortas para explorar los modelos con mayor profundidad o familiarizarse mejor con ellos. Asimismo, varios señalaron que el laboratorio de química no era el espacio más adecuado, debido a que la dinámica habitual del laboratorio generaba distracciones o exigencias paralelas, lo cual coincidió con lo registrado en la bitácora. Algunos estudiantes propusieron disponer de los modelos en los centros de estudio para uso autónomo, así como habilitar espacios adicionales para resolver dudas y continuar practicando. Otros consideraron que no había aspectos por mejorar o que los ajustes serían mínimos. En conjunto, estas observaciones reflejan un alto nivel de valoración del recurso, acompañado de un deseo explícito de profundizar y ampliar su implementación.

En el grupo de control, las respuestas abiertas mostraron una tendencia distinta. Los estudiantes resaltaron como aspecto más valorado el acompañamiento cercano de la “*practicante*”, la disponibilidad para resolver dudas y la claridad en las explicaciones. Asimismo, destacaron la utilidad de las guías, ejercicios y la organización del trabajo. En relación con los aspectos por

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

mejorar, algunos estudiantes no identificaron elementos específicos, sin embargo, otros señalaron el deseo de contar con más ejercicios, disponer de clases en un espacio diferente al laboratorio y de manera relevante incorporar modelos moleculares para mejorar la visualización tridimensional. Dos estudiantes sugirieron explícitamente que el uso de modelos podría mejorar el aprendizaje, incluso sin haber trabajado directamente con ellos durante la experiencia, lo cual refuerza la percepción de su potencial utilidad.

La integración de los datos cuantitativos y cualitativos revela que ambos grupos recomendaron la metodología recibida, pero desde fundamentos distintos. En el grupo experimental, la recomendación se sustentó en la utilidad, novedad y claridad conceptual aportada por los modelos moleculares, así como en el deseo de ampliación y continuidad de su uso. En el grupo de control, la recomendación se centró en la mediación docente y en la organización pedagógica, aunque algunos estudiantes expresaron abiertamente el interés por incorporar recursos tridimensionales. De este modo, la proyección futura de estas estrategias se perfila en dos direcciones complementarias, la ampliación del uso de recursos manipulativos en cursos de estereoquímica y el fortalecimiento del acompañamiento pedagógico como componente esencial del proceso de aprendizaje.

## 6. Conclusiones

La presente investigación permitió analizar el impacto de una estrategia didáctica mediada por modelos moleculares físicos para la enseñanza de la estereoquímica en estudiantes de Química Orgánica I. Tras el procesamiento de los datos, se presentan las siguientes conclusiones.

Con base en el objetivo general de evaluar las diferencias en el desarrollo de competencias, se concluye que la implementación de la estrategia basada en modelos tridimensionales evidenció una tendencia favorable en el desempeño académico y en la comprensión de las estructuras moleculares. Si bien el análisis estadístico mediante la prueba *t de Student* no reportó una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo experimental y el grupo de control, se observó que el grupo intervenido alcanzó promedios ligeramente superiores. Estos resultados respaldan parcialmente la primera hipótesis y sugieren que el recurso físico puede actuar como un facilitador del aprendizaje frente al método tradicional, aunque su impacto cuantitativo puede depender de variables como el tamaño de la muestra, la motivación extrínseca generada por la evaluación sumativa y las condiciones del diseño metodológico.

En relación con el primer y segundo objetivo específico, orientados al diseño y aplicación de la estrategia didáctica, se logró estructurar e implementar una metodología integral que incorporó modelos físicos, guías estructuradas y evaluaciones coherentes con los contenidos trabajados. La puesta en práctica de esta estrategia aportó evidencia a favor de la segunda hipótesis, al observarse que el uso de los modelos facilitó la identificación de isómeros y centros quirales. A través de las bitácoras de seguimiento, se evidenció que la manipulación directa contribuyó al fortalecimiento de la visión espacial de los estudiantes, permitiéndoles avanzar progresivamente en la representación de moléculas tridimensionales en un plano bidimensional.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Con respecto al tercer objetivo específico, enfocado en la comparación de resultados entre grupos, se concluye que el aprendizaje se ve favorecido cuando se combina la mediación docente con la participación activa del estudiante. La evaluación comparativa mostró que, aunque ambos grupos mejoraron tras la enseñanza del tema, el uso de modelos físicos proporcionó mayor claridad conceptual desde una perspectiva descriptiva. El análisis del proceso permitió identificar que, tanto el aprendizaje activo (manipulación del modelo) como el aprendizaje mediado (orientación y resolución de dudas por parte del docente), constituyeron elementos fundamentales para la consolidación del conocimiento estructural en ambos escenarios.

En cuanto al último objetivo específico, relacionado con el análisis de la percepción estudiantil, los resultados respaldan la tercera hipótesis al evidenciar una valoración positiva del uso de recursos físicos, asociada a un incremento en la motivación y el interés por el tema. Los estudiantes reconocieron los modelos como herramientas útiles para disminuir la dificultad de imaginar las moléculas en el espacio; no obstante, señalaron que el tiempo y el espacio disponibles resultaron limitados. Esta percepción sugiere que el contacto con materiales tangibles favorece la transición de conceptos abstractos hacia una comprensión más concreta.

Finalmente, el estudio permitió evidenciar una diferencia en la percepción entre la visión institucional sobre los recursos disponibles y las necesidades manifestadas por los estudiantes en la Escuela de Química. Mientras que desde una perspectiva docente los recursos actuales pueden considerarse suficientes, los estudiantes expresaron la necesidad de una mayor unificación metodológica y del acceso a modelos de uso individual. Las bitácoras refuerzan este hallazgo al mostrar que la actitud y la participación estudiantil tienden a mejorar cuando cuentan con acompañamiento directo y herramientas adecuadas para la visualización de conceptos químicos complejos.

## **7. Recomendaciones**

A partir de los hallazgos obtenidos en la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas al fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la estereoquímica en la Escuela de Química.

En primer lugar, se recomienda a la Escuela de Química considerar la incorporación sistemática de modelos moleculares físicos tridimensionales como recurso complementario de implementación regular en la enseñanza de contenidos que exijan visualización espacial. Aunque los resultados cuantitativos se presentan como una tendencia descriptiva, la valoración cualitativa de los estudiantes aporta evidencia relevante sobre su potencial como herramienta para reducir la carga cognitiva y favorecer la motivación. En este sentido, su uso no debería limitarse a una actividad esporádica, sino integrarse de manera planificada como mediación didáctica que facilite la transición entre la teoría abstracta y la comprensión estructural tridimensional.

Asimismo, se sugiere realizar una revisión de la distribución del tiempo académico destinado a la estereoquímica dentro del plan curricular. Los resultados indican que, dada la complejidad conceptual del tema, los estudiantes requieren tiempo de práctica más amplios que permitan equilibrar la profundidad teórica con la ejercitación manual. En este marco, podría priorizarse dentro del horario de clase la manipulación activa dirigida, de modo que el desarrollo de la habilidad visoespacial se consolide bajo la orientación docente antes de la resolución autónoma de problemas.

Desde una perspectiva de gestión de recursos, se propone valorar la creación de un sistema de préstamo institucional de modelos moleculares físicos, con un funcionamiento similar al de la

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

biblioteca. Esta alternativa se plantea como una solución logística viable frente a la dificultad de dotar a cada estudiante de un kit personal permanente. Un banco de modelos disponible para consulta externa no solo beneficiaría a la rama de Química Orgánica, sino que podría fortalecer el aprendizaje en otras ramas como Química Inorgánica y Bioquímica, promoviendo el desarrollo progresivo de la habilidad espacial desde los primeros semestres de formación.

Por otra parte, los hallazgos sugieren la pertinencia de promover tiempo de diálogo académico entre los docentes que orientan la asignatura, con el fin de favorecer una mayor coherencia metodológica. Aunque la investigación no evaluó prácticas individuales, las percepciones estudiantiles evidencian la influencia que las estrategias didácticas tienen en la claridad conceptual que pueden lograr los estudiantes. En este sentido, podría considerarse la definición de lineamientos compartidos respecto al uso de herramientas tridimensionales, así como la creación de espacios de articulación pedagógica donde se intercambien experiencias innovadoras y se fortalezcan criterios comunes de enseñanza.

Finalmente, se recomienda dar continuidad a esta línea de investigación mediante estudios con muestras de mayor tamaño y diseños longitudinales en el tiempo que permitan analizar la permanencia del aprendizaje de la estereoquímica durante varios semestres; así, resultaría pertinente evaluar el impacto de la implementación sistemática de estas estrategias desde los primeros semestres y su relación con el desempeño en niveles superiores de la carrera. Asimismo, la incorporación de instrumentos cualitativos más estructurados podría profundizar en la comprensión de la relación entre el uso de materiales tangibles, la motivación intrínseca y extrínseca, así como la retención del conocimiento a largo plazo, consolidando así un enfoque de enseñanza fundamentado en la evidencia dentro de la Escuela de Química.

**Referencias Bibliográficas**

Abraham, M., Varghese, V., & Tang, H. (2010). Using Molecular Representations To Aid Student Understanding of Stereochemical Concepts. *Journal of Chemical Education*, 87(12), 1425–1429. DOI: 10.1021/ed100497f

Acuerdo del Consejo Académico No. 233 del 10 de agosto de 2021. Modelo Pedagógico UIS21.

Almeida, P. A., Teixeira-Dias, J. J., Martinho, M., & Balasooriya, C. D. (2011). The interplay between students' perceptions of context and approaches to learning. *Research Papers in Education*, 26(2), 149–169. DOI: 10.1080/02671522.2011.561975

Alsouk, A. (2022). Innovation and Validation of an Assessment Method Using Molecular Models Following Stereochemistry Instruction in an Organic Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*, 99(5), 1900–1905. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c01267

Arango, L. T., Pérez, L. G. A., & Echeverri, J. S. O. (2020). Modelos: otra forma de aprender anatomía. *Revista Experimental*, (11), 52-55.

Aroca Guzmán, F. E. (2021). El uso de modelos moleculares como apoyo didáctico para la enseñanza de la geometría molecular inorgánica, con un enfoque hacia los modelos científicos. *Boletín P.P.D.Q.* (62), 4-14.

Asencio-Cabot, E. d. I. C. (2017). La educación científica: percepciones y retos actuales. *Educación y Educadores*, 20(2), 282–296. DOI: 10.5294/edu.2017.20.2.7

Asimov, I., Cruz, A., & Villena, M. I. (1975). *Breve historia de la química*. Alianza Editorial Madrid.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

- Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. *Fascículos de CEIF, 1*, 1–10.
- Bader, A., & Parker, L. (2001). Joseph Loschmidt, physicist and chemist. *Physics Today, 54*(3), 45–50. DOI: 10.1063/1.1366067
- Bentley, R. (1997). Are Fischer projection formulas really necessary? *Biochemical Education, 25*(4), 216–220. DOI: 10.1016/S0307-4412(97)00128-3
- Bermúdez Rojas, O. A. (2023). *Habilidades visoespaciales una estrategia para el aprendizaje de la estereoquímica*. Universidad Nacional de Colombia.
- Berryman, S. (2023, Spring). Democritus. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*  
<https://plato.stanford.edu/archives/spr2023/entries/democritus/>
- Boyle, R., & Moelwyn-Hughes, E. A. (1964). *The sceptical chymist*. Dent London.
- Brown, C. E., & Nedungadi, S. (2024). The Impact of Emotions on Students' Learning in a General, Organic, and Biological Chemistry Course. *Journal of Chemical Education, 101*(4), 1526–1533. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00891
- Bruce, P. Y. (2024). *Organic Chemistry* (9<sup>th</sup> ed.). Pearson.
- Camargo Ayala, A. L. (2014). *Estrategia didáctica para la enseñanza de la química orgánica utilizando cajas didácticas con modelos moleculares para estudiantes de media vocacional*. Trabajo de grado – Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75026>

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1973). Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social. Amorrortu editores. Buenos Aires.

Carey, F. A. & Giuliano, R. M. (2014). Organic Chemistry (9<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill

Chevreur, M. E. (1858). *Annales de Chimie Et de Physique*, 1858, Vol. 53, 469 – 489.

Clark, A., Kitson, R., Mistry, N., Taylor, P., Taylor, M., Lloyd, M., & Akamune, C. (2020). *Introduction to Stereochemistry*. The Royal Society of Chemistry.

Clarke-Midura, J., & Dede, C. (2010). Assessment, Technology, and Change. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(3), 309–328. DOI: 10.1080/15391523.2010.10782553

Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Academic Press.

Corey, R. B., & Pauling, L. (1953). Molecular models of amino acids, peptides, and proteins. *Review of Scientific Instruments*, 24(8), 621–627. DOI: 10.1063/1.1770803

Cortés Caballero, J. M., Pérez Martínez, Á A., Mejía Villegas, J. E., Hernández Chávez, M., Fabila Bustos, D. A., & Hernández Quintanar, L. F. (2020). La formación de ingenieros en sistemas automotrices mediante la realidad aumentada. *Innovación Educativa*, 20(82), 25-43.

da Silva Júnior, J. N., Castro, G. d. L., Melo Leite Junior, A. J., Monteiro, A. J., & Alexandre, F. S. O. (2022). Gamification of an Entire Introductory Organic Chemistry Course: A Strategy to Enhance the Students' Engagement. *Journal of Chemical Education*, 99(2), 678–687. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00766

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

De Quadros, A. L., Carvalho Da-Silva, D., Silva, F. C., Pereira de Andrade, F., Aleme, H. G.,

Tristão, J. C., & DeFreitas-Silva, G. (2011). The knowledge of chemistry in secondary education: difficulties from the teachers' viewpoint. *Educación química*, 22(3), 232-239. DOI: 10.1016/S0187-893X(18)30139-3

Eliel, E. L. &, Wilen, S. H. &, & Mander, L. N. (1994). *Stereochemistry of organic compounds*.

John Wiley & Sons, Inc.

Escobar, N. (2011). La mediación del aprendizaje en la escuela. *Acción Pedagógica*, 20(1), 58–73.

Eubanks, I. D., & Eubanks, L. T. (2002). *Preparing for your ACS examination in organic chemistry: The official guide*. Examinations Institute, American Chemical Society, Division of Chemical. Education.

Fernández Palacios, R. (2014). *Uso de los modelos moleculares en la enseñanza de química orgánica en Bachillerato: Hibridación*. Trabajo de grado – Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas. Departamento de Química Orgánica. Universidad de Valladolid.

Foley, J. D. (1996). *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley.

Gillespie, R. J. (1970). The electron-pair repulsion model for molecular geometry. *Journal of Chemical Education*, 47(1), 1823. DOI: 10.1021/ed047p18

Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., & Vega-Franco, L. (2013). Cómo seleccionar una prueba estadística (segunda parte). *Revista Mexicana de Pediatría*, 80(2), 81–85.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

- Habraken, C. L. (2004). Integrating into Chemistry Teaching Today's Student's Visuospatial Talents and Skills, and the Teaching of Today's Chemistry's Graphical Language. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 89–94. DOI: 10.1023/B:JOST.0000019641.93420.6f
- Hafner, K. (1979). August Kekulé—The Architect of Chemistry Commemorating the 150th Anniversary of His Birth. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 18(9), 641–651. DOI: 10.1002/anie.197906413
- Hartley, H. (1967). John Dalton, F.R.S. (1766-1844) and the Atomic Theory-A Lecture to Commemorate his Bicentenary. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 168(1013), 335–359. <https://www.jstor.org/stable/75700>
- Hartley, J., & Davies, I. K. (1978). Note-taking: A critical review. *Programmed Learning and Educational Technology*, 15(3), 207–224. DOI: 10.1080/0033039780150305
- Haynes, W. (2013). Student's t-test. *Encyclopedia of Systems Biology* (pp. 2023–2025). Springer.
- Hein, G. E. (1966). Kekulé and the Architecture of Molecules. ACS Publications.
- Heinze, A., Basulto-Martinez, M., & Suárez-Ibarrola, R. (2020). Impresión 3D y sus beneficios en el campo de la educación médica, entrenamiento y asesoría del paciente. *Revista Española de Educación Médica*, 1(1), 1–8. DOI: 10.6018/edumed.421221
- Higgins, W. (1789). *A Comparative View of the Phlogistic and Antiphlogistic Theories: With Inductions. To which is Annexed, an Analysis of the Human Calculus, with Observations on Its Origin, &c.* J. Murray.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Higgins, W. (1814). *Experiments and observations on the atomic theory, and electrical phenomena*. Graisberry and Campbell.

Hrubeš, J., Jaroš, A., Nemirovich, T., Teplá, M., & Petrželová, S. (2024). Integrating Computational Chemistry into Secondary School Lessons. *Journal of Chemical Education*, *101*(6), 2343–2353. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00908

Huaroc Ponce, E. J., Huaroc Ponce, N. M., Raqui Ramirez, C. E., & Sánchez Solís, Y. (2024). Importancia de Conocer la Normalidad de los Datos Utilizados en los Trabajos de Investigación por Tesistas. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, *17*(2) 404 - 413. DOI: 10.37843/rted.v17i2.554

Huber, G. L. (2008). Aprendizaje activo y metodologías educativas. *Revista de Educación*, (número extraordinario), 59–81.

John McMurry. (2015). *Organic Chemistry* (9th ed.). Cengage Learning.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, *7*(2), 75–83. DOI: 10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x

Joly, B. (2014). Etienne-François Geoffroy (1672–1731), a Chemist on the Frontiers. *Osiris*, *29*(1), 117–131. DOI: 10.1086/678100

Jones, O. A. H., Spichkova, M., & Spencer, M. J. S. (2018). Chirality-2: Development of a Multilevel Mobile Gaming App To Support the Teaching of Introductory Undergraduate-

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

- Level Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 95(7), 1216–1220. DOI: 10.1021/acs.jchemed.7b00856
- Koltun, W. L. (1965). Precision space-filling atomic models. *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, 3(6), 665–679. DOI: 10.1002/bip.360030606
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.3.CO;2-U
- Lewis, G. N. (1916). The atom and the molecule. *Journal of the American Chemical Society*, 38(4), 762–785. DOI: 10.1021/ja02261a002
- Lichtenthaler, F. W. (1992). Emil Fischer's proof of the configuration of sugars: A centennial tribute. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 31(12), 1541–1556. DOI: 10.1002/anie.199215413
- Lucrecio, T. C., & Pégolo, L. (2020). De rerum natura. Acerca de la naturaleza de las cosas. *Edición Bilingüe (Español Y Latin). Trad. de Liliana Mercedes Victoria Pégolo et alli. Buenos Aires: Editorial Las Cuarenta.*
- Loschmidt, J. (1861). *Chemische Studien*. Carl Gerold's Sohn. Vienna.
- Mauskopf, S. H. (1969). The Atomic Structural Theories of Ampère and Gaudin: Molecular Speculation and Avogadro's Hypothesis. *Isis*, 60(1), 61–74. <http://www.jstor.org/stable/229022>
- McMurry, J. (2015). *Organic Chemistry* (9<sup>th</sup> ed.). Cengage Learning.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Mishra, P., Singh, U., Pandey, C. M., Mishra, P., & Pandey, G. (2019). Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(4), 407–411.

DOI: 10.4103/aca.ACA\_94\_19

Morselli, M. A. (1980). The manuscript of avogadro's "essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires". *Ambix*, 27(3), 147–172. DOI:

10.1179/amb.1980.27.3.001

National Research Council, Division of Behavioral, Social Sciences, Board on Science Education, National Committee on Science Education Standards, & Assessment. (1995). *National science education standards*. National Academies Press.

NEW COREY-PAULING SPACE FILLING ATOMIC MODELS WITH KOLTUN CONNECTORS (1966). *Chemical & Engineering News Archive*, 44(17), 4. DOI:

10.1021/cen-v044n017.p004

Noyes, W. A. (1909). Molecular Rearrangements. *Journal of the American Chemical Society*, 31(12), 1368–1374.

Ocampo, J. A. S. (2017). Maquetas y prototipos como herramientas de aprendizaje en arquitectura. *Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo*, 38(2), 43–52.

Parra F., K. N. (2014). El docente y el uso de la mediación en los procesos de enseñanza y aprendizaje. *Revista de Investigación*, 38(83), 155–180.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Pauling, L. (1931). The nature of the chemical bond. Application of results obtained from the quantum mechanics and from a theory of paramagnetic susceptibility to the structure of molecules. *Journal of the American Chemical Society*, 53(4), 1367–1400.

Pauling, L. (1992). The nature of the chemical bond – 1992. *Journal of Chemical Education*, 69(7), 519. DOI: 10.1021/ed06gp51g

Pauling, L., Corey, R. B., & Branson, H. R. (1951). The structure of proteins: Two hydrogen-bonded helical configurations of the polypeptide chain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 37(4), 205–211. DOI: 10.1073/pnas.37.4.205

Perkins, J. A. (2005). A history of molecular representation. Part one: 1800 to the 1960s. *J Biocommun*, 31(1), 1.

Pinto Blanco, A. M., & Quitora, L. C. (2000). Los modelos pedagógicos. *Universidad Abierta: Revista del Instituto de Educación a Distancia de la Universidad de Tolima*, 7, 1–10.

Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2004.tb0080g.x

Rahmawati, Y., Dianhar, H., & Arifin, F. (2021). Analysing Students' Spatial Abilities in Chemistry Learning Using 3D Virtual Representation. *Education Sciences*, 11(4). DOI: 18510.3390/educsci11040185

Ramírez, A. G., & Lozano, A. R. (2018). El desarrollo del “pensamiento gráfico” en el estudiante de arquitectura como parte de su proceso creativo. *Arquitectura y Urbanismo*, 39(3), 101–112.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Sachse, H. (1890). Ueber die geometrischen Isomerien der Hexamethylderivate. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 23(1), 1363–1370. DOI: 10.1002/cber.189002301216

Salame, I. I., & Kabir, S. A. (2022). Examining students' spatial ability and its impact on the learning of stereochemistry. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 18(4), e2288. DOI: 10.21601/ljese/1209g

Sankar, G. (2026). Overcoming Visual–Spatial Challenges in Stereochemistry: Exploring a Structured and Collaborative Approach to Mastering Cyclohexane Conformations in Higher Education Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 103(1), 166–174. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5c01265

Santoyo Cortes, S. P. (2012). *Uso de los modelos moleculares como herramienta didáctica para la comprensión de la relación existente entre estructura y propiedades de los compuestos*. Trabajo de grado – Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20760>

Seoane, G., Cerecetto, H., Boiani, M., González, M., Palermo, M. M., Buccino, P., Saenz, P., Loureiro, S., López, V., & Otegui, X. (2004). Uso de modelado molecular como herramienta didáctica en el primer curso de grado de Química Orgánica. *Educación Química*, 15(4e), 349–352. DOI: 10.22201/fq.18708404e.2004.4e.66154

Sjöström, J., Eilks, I., & Talanquer, V. (2020). Didaktik Models in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 910–915. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b01034

SOUZA, Patrícia de Mello. A modelagem tridimensional como implemento do processo de desenvolvimento do produto de moda. 2006. 113 f. Dissertação (mestrado) - Universidade

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2006.

<http://hdl.handle.net/11449/96266>

Stull, A. T., Gainer, M., Padalkar, S., & Hegarty, M. (2016). Promoting Representational Competence with Molecular Models in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 994–1001. DOI: 10.1021/acs.jchemed.6b00194

Thoms, L., Blick, G., Schmidt, L., Furrer, F., Purandare, M., Loch, F., & Huwer, J. (2026). Chemistry Teachers' Perception of Students' Difficulties in Reading and Drawing Chemical Structures. *Journal of Chemical Education*, Article ASAP. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5c00204

Toledano, J. M. A. (2017). El nacimiento de la geometría analítica. *Lecturas Matemáticas*, 38(2), 93–124.

Turan-Oluk, N., Baran, A., & Ekmekci, G. (2022). Chemistry Teachers' Self-Efficacy Perception Scale for Teaching in Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*, 99(9), 3114–3123. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00240

van der Spek, T. M. (2006). Selling a Theory: The Role of Molecular Models in J. H. van 't Hoff's Stereochemistry Theory. *Annals of Science*, 63(2), 157–177. DOI: 10.1080/00033790500480816

Van der Waals, J. D. (1873). *Over de Continuïteit van den Gas-en Vloeïstoestand* (1st ed.). Sijthoff.

*MODELOS 3D EN EL APRENDIZAJE DE ESTEREOQUÍMICA*

- Viana, H. E. B., & Porto, P. A. (2010). The development of Dalton's atomic theory as a case study in the history of science: Reflections for educators in chemistry. *Science & Education*, 19, 75–90. DOI: 10.1007/s11191-008-g182-2
- von Hofmann, A. W. (1866). On the combining power of atoms. *Royal Institution of Great Britain*.
- Wade, L. G. Jr., & Simek, J. W. (2016). *Organic Chemistry* (9th ed.). Pearson.
- Waller, J. (2004). *Leaps in the dark: The making of scientific reputations*. OUP Oxford.
- Wang, Y., Apkarian, N., Dancy, M. H., Henderson, C., Johnson, E., Raker, J. R., & Stains, M. (2024). A National Snapshot of Introductory Chemistry Instructors and Their Instructional Practices. *Journal of Chemical Education*, 101(4), 1457–1468. DOI: 10.1021/acs.jchemed.4c00040
- Wiberg, K. B. (1986). The Concept of Strain in Organic Chemistry. *Angewandte Chemie, International Edition English*, 25(4), 312–322. DOI: 10.1002/anie.198603121
- Wu, H., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492. DOI: 10.1002/sce.10126
- Zambrano Tiznado, J. P., Sáez Geoffroy, A., & Zambrano Tiznado, G. (2014). Evaluación de la didáctica y la satisfacción de los estudiantes en una asignatura de historia del derecho. *Revista de Ciencias Sociales*, (65), 185 – 209. DOI: 10.22370/rcs.2014.65.197