



# Implementación de una aplicación móvil de realidad aumentada para el aprendizaje de la isomería conformacional de compuestos orgánicos

L. A. Dettorre<sup>a</sup>, M. B. Sabaini<sup>a</sup>, F. Galizia<sup>b</sup>, S. S. Ramírez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes. Roque Sáenz Peña 352. Bernal, Argentina.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Calle 115 y 47. La Plata, Argentina

## ARTICLE INFO

**Received:** 9 septiembre de 2021

**Accepted:** 24 de octubre de 2021

**Available on-line:** 30 de noviembre de 2021

**Keywords:** Química Orgánica, Conformación, Realidad aumentada.

**E-mail addresses:**

ldettorre@unq.edu.ar  
msabaini@unq.edu.ar  
fgalizia@gmail.com  
sramirez@unq.edu.ar

**ISSN 2007-9847**

© 2021 Institute of Science Education.  
All rights reserved

## ABSTRACT

In this paper, the application of the informatic program "Confórmeros" of Augmented Reality for the approach of contents related to conformational isomerism of organic compounds is described, in two courses of Eco-compatible Organic Chemistry of the Technician in Environmental and Petrochemical Technology of the National University of Quilmes. The program allows you to visualize three-dimensional models of simple molecules and analyze their conformations using mobile devices. The software, designed by teachers of the subject, is freely accessible.

Individual and collaborative activities were proposed for students to interact with three-dimensional molecular models of different molecules, describe characteristics that they observed of each one, explain the differences in stability between different conformations and accompany their explanations with flat projections of those molecules, using a virtual classroom as a learning environment. Their productions were shared in discussion forums to promote the exchange of ideas. The application "Confórmeros" favored interaction, motivation and interest in learning and improved the understanding of the topics addressed.

En este trabajo, se describe la aplicación del programa informático "Confórmeros" de Realidad Aumentada para el abordaje de contenidos relacionados con la isomería conformacional de compuestos orgánicos, en dos cursos de Química Orgánica Eco-compatible de la Tecnicatura en Tecnología Ambiental y Petroquímica de la Universidad Nacional de Quilmes. El programa permite visualizar modelos tridimensionales de moléculas sencillas y analizar sus conformaciones utilizando dispositivos móviles. El software, diseñado por docentes de la materia, es de acceso libre y gratuito.

Empleando como entorno de aprendizaje un aula virtual, se propusieron actividades individuales y colaborativas destinadas a que los estudiantes interactuasen con modelos moleculares tridimensionales de diferentes moléculas, describan características que observaban de cada uno, explicaran las diferencias de estabilidad entre diversas conformaciones y acompañen a sus explicaciones con proyecciones planas de esas moléculas. Sus producciones fueron compartidas en foros de debate para promover el intercambio de ideas. La aplicación "Confórmeros" favoreció la interacción, la motivación y el interés en el aprendizaje y mejoró la comprensión de los temas abordados.

## I. INTRODUCCIÓN

Química Orgánica Eco-compatible (QOE) es una asignatura del segundo año de la Tecnicatura en Tecnología Ambiental y Petroquímica de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ). Se trata de un curso cuatrimestral con una carga horaria semanal de 6 horas. El mismo, recibe a estudiantes de entre 20 y 30 años de edad que cursan el tercer cuatrimestre de su recorrido académico. La mayor parte del estudiantado trabaja a jornada completa lejos de la universidad y tiene familiares a su cargo, lo cual dificulta el sostenimiento de sus trayectorias educativas. Para ampliar las posibilidades de inclusión con calidad de esta población estudiantil, desde 2018, la materia se dicta

semipresencialmente, articulando propuestas educativas presenciales con el uso activo del campus virtual de la Universidad. En este marco, se han venido desarrollando una serie de materiales didácticos digitales que han servido para el abordaje de los contenidos de la materia en entornos virtuales, tales como audiovisuales, materiales didácticos multimedia y software educativo con realidad aumentada (RA).

En el contexto del aislamiento por COVID-19, la asignatura se ha dictado en modalidad virtual, articulando instancias sincrónicas y asincrónicas de enseñanza y de aprendizaje. A partir de relevamientos previos sobre la disponibilidad de dispositivos electrónicos, se sabe que todos los estudiantes disponen tanto de computadoras personales como de teléfonos móviles inteligentes.

En este trabajo, se describe la propuesta de implementación de una aplicación móvil de RA para el estudio de la conformación de compuestos orgánicos durante el segundo cuatrimestre de 2020 y el segundo de 2021, con un total de 21 estudiantes.

### **I.1. Modelización y desarrollo de habilidades viso-espaciales en química orgánica**

La construcción de modelos en todas las disciplinas científico-tecnológicas constituye uno de los objetivos perseguidos en su enseñanza. Los modelos actúan como mediadores entre las teorías y la realidad que éstas intentan explicar. En este sentido, el desarrollo e interacción con modelos tridimensionales digitales constituye una apuesta a la construcción de modelos mentales de las moléculas orgánicas que permite, por un lado, generar un referente concreto de contenidos con elevados grados de abstracción, y por el otro, promover el desarrollo de habilidades cognitivas específicas y cognitivo-lingüísticas importantes a la hora de analizar la composición y la estructura submicroscópica de sistemas materiales.

El lenguaje de la química está constituido por un extenso vocabulario específico y por variados tipos de fórmulas y convenciones (Galagovsky y Bekerman, 2009; Farré *et al.*, 2014). La apropiación del lenguaje multimodal de la disciplina y la capacidad de realizar traducciones entre lenguajes simbólicos (Galagovsky y Bekerman, 2009), están relacionadas con el grado de comprensión de la misma.

En cursos de grado y pregrado universitario y a partir de estudios preliminares referidos a la construcción de conocimientos asociados al aprendizaje de la química orgánica (Dettorre *et al.*, 2019), hemos observado que uno de los principales obstáculos es la representación mental o gráfica de la estructura molecular de compuestos orgánicos en tres dimensiones (3D). La necesidad de construir modelos de entidades moleculares y de formar a los estudiantes para que desarrollen una inteligencia viso-espacial que les permita aplicar un conjunto de operaciones mentales a tales modelos (como rotar y trasladar moléculas en 3D, identificar la disposición espacial de átomos o grupo de átomos o rotar enlaces covalentes), es fundamental para construir un conocimiento profundo de la estructura electrónico-molecular de los compuestos orgánicos. De manera análoga, numerosos trabajos reconocen la dificultad que representa para los estudiantes el manejo de representaciones tridimensionales, incluso en el nivel universitario (Perren y Odetti, 2006; Pérez Benítez, 2008).

Los estudiantes de cursos de química deben integrar las representaciones espaciales con conocimientos químicos. Sin embargo, la percepción de modelos tridimensionales junto con la comprensión de los fenómenos y las estructuras espaciales de las moléculas en estudio resultan ser de gran dificultad para los estudiantes, ya que las estrategias de enseñanza tradicionales no promueven adecuadamente la comprensión por parte del estudiantado (Fatemah *et al.*, 2020).

En el caso de la química orgánica, el uso de modelos estáticos permite reconocer la distribución de los átomos en tres dimensiones y sus implicancias en términos geométricos (en la forma de las moléculas) y en la polaridad de las moléculas. Al sumar modelos dinámicos en los que, además, se simula la rotación de ciertos enlaces covalentes, es posible modelizar procesos de interconversión molecular que sólo se pueden visualizar con ciertas animaciones.

El uso combinado de ambos tipos de modelos permite al estudiantado construir ciertas habilidades de pensamiento, llamadas habilidades viso-espaciales, que se vinculan con la capacidad de comprender cómo ciertos objetos (reales o mentales) pueden moverse en tres dimensiones, trasladarse y rotar en torno a ciertos elementos geométricos (un punto, un eje o un plano) o incluso cómo rotan las uniones simples carbono-carbono o carbono-heteroátomo, modificando la disposición espacial de los átomos o grupos de átomos enlazados a los átomos que participan de esos enlaces sencillos.

Mathewson (1999) sostiene que el pensamiento visoespacial incluye la visión -utilizar los ojos para identificar, ubicar y pensar sobre los objetos y nosotros mismos en el mundo- y las imágenes -la formación, inspección, transformación y mantenimiento de imágenes en nuestra mente en ausencia de un estímulo visual. Una imagen espacial conserva las relaciones entre un conjunto complejo de ideas como un solo fragmento en la memoria de trabajo, aumentando la cantidad de información que se puede mantener en la conciencia en un momento dado. La visión y las imágenes son procesos cognitivos fundamentales que utilizan vías especializadas en el cerebro y se basan en nuestra memoria de experiencias anteriores.

## I. 2. Realidad aumentada en química orgánica

Para promover el desarrollo de habilidades viso-espaciales en el marco de nuestra disciplina, es frecuente el uso de modelos materiales de esferas y palillos, no obstante, su uso queda restringido a las instancias presenciales y al trabajo en grupos para su manipulación debido a sus elevados costos. Los programas que funcionan con RA tienen la ventaja de habilitar su uso ubicuo y en modelo 1 a 1, en los que cada estudiante puede interactuar con los modelos digitales empleados en sus propios dispositivos móviles.

Merino y colaboradores (2015) definen RA como la combinación de ambientes reales en los que se incorpora información digital que puede ser visualizada por los usuarios por medio de un dispositivo electrónico con cámara. Ese contenido digital (imágenes bi o tridimensionales, estáticas o con movimiento), puede vincularse a otros recursos digitales remotos, como página web, animación, audiograbación, vídeo, etcétera. El programa puede generar ese contenido digital mediante geolocalización o capturando marcadores (imágenes que son interpretadas por el programa para solicitar la aparición del contenido en la pantalla). Cuando el objeto virtual simulado mediante RA es tridimensional, es posible explorarlo moviendo la cámara del dispositivo móvil o el marcador.

La RA es una tecnología inmersiva relacionada con la realidad virtual (RV), en la que se considera que toda visualización (realidad) que se origina al mezclar el entorno real y el virtual, forma parte de una “realidad mezclada” o “realidad híbrida”, en la cual el contenido es fundamentalmente real (Ruiz-Torres, 2011). Esto significa que la RA no es más que la observación de un entorno físico del mundo real, a través de un dispositivo electrónico, que combina elementos físicos tangibles con elementos digitales o virtuales, logrando crear una realidad aumentada en tiempo real. La RA tiene diversas aplicaciones, dentro de las cuales la modelización de objetos es una de las principales. Dichos modelos pueden generarse, manipularse y ser rotados con gran velocidad (Almgren *et al.*, 2005; Lee, 2012).

La coexistencia de objetos virtuales y entornos reales permite a los estudiantes hacer explícitas relaciones espaciales complejas y conceptos sumamente abstractos, visualizar objetos y fenómenos poco accesibles en el entorno habitual de aprendizaje, interactuar con objetos bi y tridimensionales en una “realidad híbrida” y promover habilidades y conocimientos que no pueden ser desarrollados empleando otras tecnologías (Cuendet *et al.*, 2013).

La utilización de la RA para la enseñanza y el aprendizaje de la química orgánica comienza en el año 2000 y constituye una innovación en la didáctica de este tipo de contenido y un área de oportunidad para la educación 4.0, una modalidad educativa que promueve el uso activo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en educación. La inclusión de tecnologías emergentes permite un acercamiento más adecuado al desarrollo de habilidades y competencias educativas específicas en la enseñanza de las ciencias experimentales (Ruiz Cerrillo, 2020).

### I.3. Características de la aplicación Confórmeros

El objetivo principal de la aplicación “Confórmeros” (Galizia *et al.*, 2019) es analizar el comportamiento conformacional de compuestos lineales (como el etano y el butano) y cíclicos (ciclopentanos y ciclohexanos). En este caso, es posible animar los objetos de manera tal de visualizar la rotación de uniones sigma carbono-carbono. La **Figura 1** muestra la pantalla inicial de la aplicación.



FIGURA 1. Pantalla inicial del programa "Confórmeros".

Los modelos tridimensionales de esta aplicación pueden ser animados (no son sólo estáticos), lo cual permite dar cuenta de los procesos físicos dinámicos que involucran el cambio o interconversión de una conformación en otra (ver Figura 2).

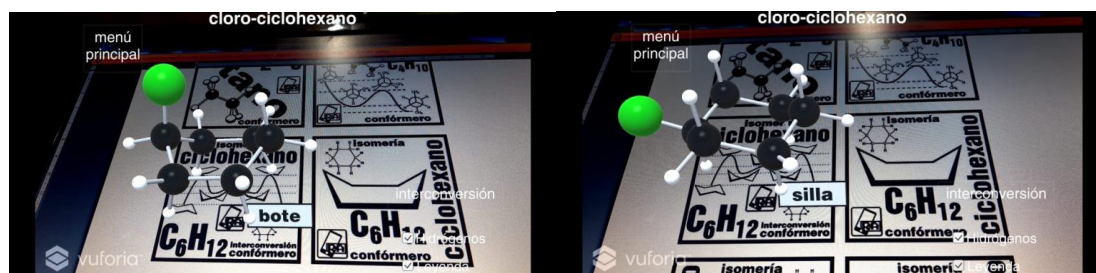


FIGURA 2. Representación modélica de las conformaciones de "silla" y "bota" para el clorociclohexano, generada por la aplicación "Confórmeros". Al presionar el botón "interconversión", se habilita una animación que permite simular el proceso de cambio conformacional.

## II. PROPUESTA DE ENSEÑANZA CON LA APLICACIÓN EN REALIDAD AUMENTADA

### II.1 Contexto

Química Orgánica Ecocompatible es una materia del segundo año (tercer cuatrimestre) de la Tecnicatura en Tecnología Ambiental y Petroquímica de la UNQ. Se dicta en un curso cuatrimestral con una carga horaria semanal de seis horas. Las clases son teórico-prácticas e incluyen la resolución de problemas y trabajos prácticos de laboratorio. En tiempos previos al COVID-19, la asignatura se venía desarrollando de manera bimodal. En el contexto del aislamiento por COVID-19, se ha dictado en modalidad virtual, articulando instancias sincrónicas y asincrónicas de enseñanza y de aprendizaje. La misma está a cargo de dos docentes.

### II.2 Metodología de la propuesta

Para el desarrollo de la propuesta que aquí se presenta se seleccionaron los siguientes contenidos: isomería conformacional, rotación de enlaces sigma, conformaciones de compuestos orgánicos de cadena abierta y cíclicos, confórmeros, tensiones estéricas y torsionales y proyecciones planas.

Los objetivos didácticos de esta propuesta son:

- Identificar diferentes conformaciones para compuestos orgánicos de cadena abierta y cíclicos.
- Diferenciar confórmeros de las demás conformaciones posibles.
- Reconocer diferentes perspectivas para observar una molécula.
- Correlacionar la forma y conformación de las moléculas con las de proyecciones planas empleadas para su representación.


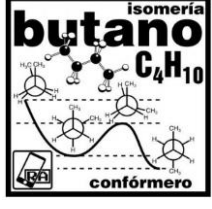
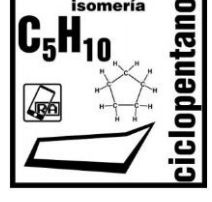
La modalidad de trabajo se alternó entre individual y grupal, dependiendo de la finalidad de la actividad, empleando un entorno virtual de enseñanza y de aprendizaje para los intercambios. Los recursos que se utilizaron fueron la aplicación "Confórmeros" y el foro de debate en el campus. Las actividades fueron realizadas por un total de 21 estudiantes de dos comisiones, 8 de la primera y 13 de la segunda.

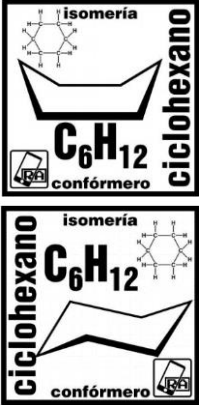

### II. 3. Propuestas de actividades

### II. 3. 1. Consignas para la actividad individual

Se propuso a los estudiantes que, individualmente, descarguen e instalen la aplicación "Confórmeros" en sus dispositivos móviles (celulares o tabletas) y analicen las conformaciones de los compuestos que se muestran en la **Tabla I** capturando con la cámara de su dispositivo los marcadores indicados en cada caso.

**TABLA I.** Propuestas para las actividades individuales utilizando la App "Confórmeros".

Disposiciones geométricas a analizar	Marcador	Para promover la reflexión
1) Conformaciones del etano:		<p>- ¿Qué conformación para el etano es la más estable?, ¿cuál es la de menor estabilidad?, ¿por qué?</p> <p>- ¿Qué tipo de tensiones explican la diferencia de estabilidad entre dichas conformaciones?</p> <p>- Traten de manipular el modelo de modo tal de encontrar una perspectiva de observación que les permita ocultar el enlace C-C. ¿Cómo podrían representar a cada conformación desde esa perspectiva utilizando proyección de Newman?, ¿en cual se observa mayor grado de "eclipsamiento"?</p>
2) Conformaciones del butano:		<p>- ¿Qué conformación para el butano es la más estable?, ¿cuál es la de menor estabilidad?, ¿por qué?</p> <p>- ¿Qué tipo de tensiones explican la diferencia de estabilidad entre dichas conformaciones?</p> <p>- Traten de manipular el modelo de modo tal de encontrar una perspectiva de observación que les permita ocultar el enlace C2-C3. ¿Cómo podrían representar a cada conformación desde esa perspectiva utilizando proyección de Newman?, ¿en cuál se observa mayor grado de "eclipsamiento"?</p>
3) Conformaciones del ciclopentano:		<p>- ¿Qué conformaciones para este compuesto son las más estables?, ¿por qué?</p> <p>- ¿Qué tipo de tensiones es posible identificar en compuestos cíclicos?</p>

<p>4) Conformaciones del ciclohexano:</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué conformación del ciclohexano es la más estable?, ¿la de bote o la de silla?, ¿cuál es la de menor estabilidad?, ¿por qué?</li> <li>- ¿Qué tipo de tensiones explican la diferencia de estabilidad entre dichas conformaciones?</li> <li>- Traten de manipular cada modelo de modo tal de encontrar una perspectiva de observación que les permita ocultar dos enlaces C-C. ¿Cómo podrían representar a cada conformación desde esa perspectiva utilizando proyección de Newman?, ¿en cual se observa mayor grado de "eclipsamiento"?</li> </ul>
<p>5) Cambio conformacional para el ciclohexano:</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué conformaciones pueden identificar para el ciclohexano?, ¿cuáles corresponden a confórmeros?, ¿por qué son más estables que las demás conformaciones?</li> <li>- ¿Qué conformaciones son particularmente más inestables?, ¿por qué?, ¿qué componentes tensionales -desestabilizantes- pueden identificar en cada caso?</li> <li>- ¿Qué ocurre con los sustituyentes axiales y ecuatoriales cuando un confórmero de silla se interconvierte en otro?, ¿qué sucede en aquellos casos en los que los átomos de hidrógeno son reemplazados por sustituyentes de mayor tamaño?</li> </ul>

### II. 3. 2. Consignas para la actividad grupal en foros de debate

Para promover el trabajo colaborativo en los foros, se plantearon consignas distintas orientadas al análisis conformacional de compuestos diferentes:

#### 1) *Análisis conformacional de compuestos de cadena abierta*

El equipo docente organizó grupos de no más de tres estudiantes para que realizaran el análisis de los marcadores y compartieran sus resoluciones en un hilo de un foro de debate por grupo en el aula virtual. Todos los integrantes de cada grupo tuvieron que realizar un aporte por escrito, acompañando sus textos con imágenes de las capturas de pantalla de los modelos 3D o representaciones gráficas de alguna o varias proyecciones planas. Como enunciado de la actividad, se propuso:

*“En esta actividad, deberán descargar la Aplicación "Confórmeros" en un dispositivo móvil (tablet o celular) y analizar los marcadores de los puntos 1) y 2). Abran la aplicación, presionen la opción que corresponda a su marcador y apunten con la cámara de su dispositivo hacia él para que el programa genere el modelo tridimensional en la pantalla.*

*Utilizando las preguntas que aparecen debajo de cada marcador como guía, elaboren una descripción de cada conformación y compártanlas en este hilo del foro. Acompañen sus posteos con capturas de pantalla de los modelos tridimensionales generados a partir de cada marcador. Esas imágenes deben representar a cada una de las conformaciones distintivas del etano y butano.”*

## 2) Análisis conformacional de las conformaciones de ciclohexanos

Al igual que en el caso anterior, se organizaron grupos pequeños de no más de tres estudiantes, esta vez, para que analizaran las conformaciones de los ciclohexanos presentados. El enunciado propuesto fue el siguiente:

*“En esta actividad, deberán descargar la Aplicación "Confórmeros" en un dispositivo móvil (tablet o celular) y analizar los marcadores de los puntos 4) y 5). Abran la aplicación, presionen la opción que corresponda a su marcador y apunten con la cámara de su dispositivo hacia él para que el programa genere el modelo tridimensional en la pantalla.*

*Utilizando las preguntas que aparecen debajo de cada marcador como guía, elaboren una descripción de cada conformación y compártanlas en este hilo del foro. Acompañen sus posteos con capturas de pantalla de los modelos tridimensionales generados a partir de cada marcador. Esas imágenes deben representar a cada una de las conformaciones distintivas del ciclohexano y el intercambio conformacional.”*

### III. ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES

En todos los casos, los estudiantes fueron capaces de identificar las convenciones empleadas, tanto para representar a los átomos de carbono, hidrógeno y cloro en los modelos de esferas y varillas como las conformaciones más importantes a partir de las imágenes generadas por la aplicación, tanto para los compuestos de cadena abierta como de los cíclicos.

En general, se observó un apropiado uso del lenguaje químico específico a la hora de nombrar las distintas conformaciones, describir la geometría molecular de las mismas, la disposición de los átomos en el espacio y diferenciar las conformaciones de menor y mayor estabilidad, identificando y nombrando claramente a los confórmeros (conformaciones de menor energía), como se refleja en el siguiente comentario:

*“De estas 4 conformaciones [(bote, silla, semi-silla y bote torcido)] podemos afirmar que las de tipo silla y bote torcido corresponden a confórmeros, ya que estas se encuentran en mínimos de energía (absoluto para silla y local para bote torcido) aportando mayor estabilidad al compuesto”*

En la mayoría de los casos, se hace referencia a las tensiones estéricas y/o torsionales que se evidencian en cada conformación:

*“La conformación semi-silla o media-silla [para el ciclohexano] es el más inestable de todas las conformaciones por el máximo eclipsamiento, por poseer 5 carbonos co-planares. La tensión torsional es por el eclipsamiento de los enlaces en los átomos vecinos.”*

*“Cuando los átomos de hidrógeno son reemplazados por sustituyentes de mayor tamaño y estos se encuentran en posición axial, generan una repulsión de van der Waals con los hidrógenos axiales que estén conectados a los carbonos 3 y 5, esta interacción que se da en el espacio genera un tipo de repulsión estérica llamada 1,3-diaxial, liberándose cuando la conformación de silla cambia a la otra y el sustituyente se ubica en posición ecuatorial.”*

En algunos casos se sumó información referida a los ángulos diedros, mostrando los modelos desde una perspectiva que permitió visualizar lo descrito en el texto, como se observa en el comentario de un estudiante en relación a las conformaciones para el etano:

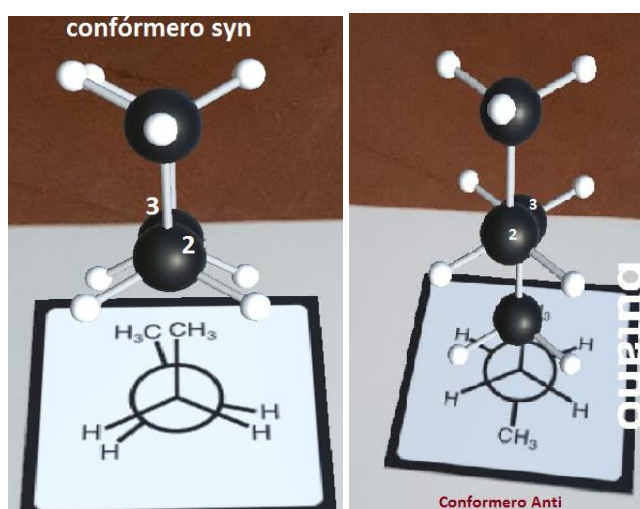
*“La conformación con mayor grado de "eclipsamiento" corresponde a la foto donde se ve que la unión C-H anterior se encuentra totalmente superpuesta a la unión C-H posterior. En esta conformación el ángulo diedro, formado entre las uniones carbono-hidrógeno anterior y posterior, es igual a 0°. Debido a que la unión sigma C-C no se encuentra limitada para rotar, podemos encontrar la conformación alternada o escalonada, donde el ángulo diedro es de 60° o también, la conformación sesgada, donde la posición de las uniones C-H posteriores y anteriores forman un ángulo distinto a los mencionados anteriormente.”*

En otras respuestas, sumaron explicaciones acerca de las diferencias de energía entre las distintas conformaciones que resultan de las tensiones torsionales, explicitando cuáles son las razones por las cuales surgen dichas tensiones desde diversos marcos teóricos, como la Teoría de Orbitales Moleculares (TOM):

*“Dentro de la conformación alternada [del etano] se da un efecto de solapamiento transitorio de orbitales moleculares sigma enlazante y sigma antienlazante C-H, (aquellos que surgen del solapamiento del orbital atómico  $sp^3$  del carbono con el s del hidrógeno) uno enlazante y otro antienlazante. [...]Entonces cuando los átomos están en una conformación alternada, el orbital sigma enlazante y el orbital sigma antienlazante C-H [...], se dispondrán paralelos y consecutivos.”*

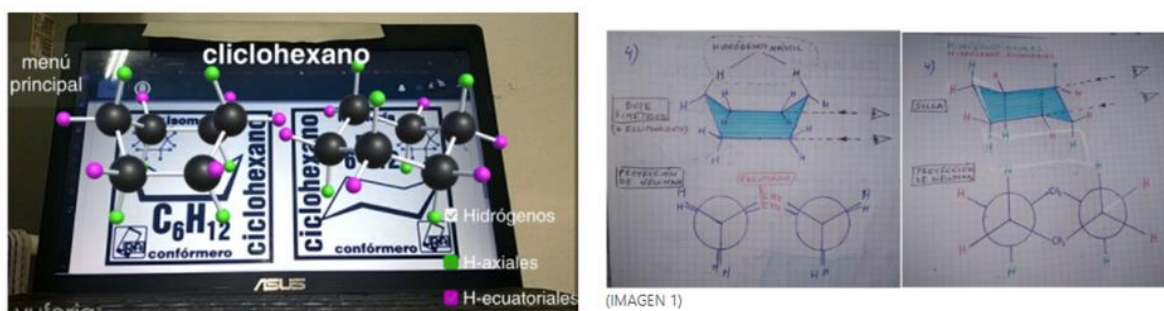
En algunos casos, las justificaciones resultaron superficiales, debido a que, si bien se hace referencia a los efectos estéricos o las tensiones torsionales que experimentan algunos compuestos en ciertas conformaciones, no se explicita la causa de tales efectos. Esto puede observarse en la siguiente respuesta acerca de las conformaciones del butano (**Figura 3**):

*“La conformación menos estable es la sinperiplanar, syn, que es la que presenta mayor tensión torsional y estérica. Esto se debe a que los carbonos 1 y 4 se encuentran alineados y formando un ángulo de  $0^\circ$ . La conformación más estable es la anti en la que los carbonos 1 y 4 están más alejados entre si, con un ángulo de separación de  $180^\circ$ , presentando la menor tensión torsional y estérica.”*



**FIGURA 3.** Representaciones 3D generadas por estudiantes para analizar las conformaciones del butano.

Como se observa en la **Figura 4**, algunos estudiantes pudieron generar modelos tridimensionales y acompañar sus respuestas con capturas de pantalla y representaciones gráficas planas empleando lápiz y papel.



*La conformación tipo "bote" es la de mayor eclipsamiento.*

**FIGURA 4.** Representaciones 2D y 3D generadas por estudiantes para analizar las conformaciones del ciclohexano.

A pesar de que algunos aportes resultaron ser superficiales y que algunos de ellos contienen errores conceptuales, se observa que la información provista por los distintos integrantes de cada equipo se complementa y enriquecen los



aportes de los compañeros, evitando realizar superposiciones o reiteraciones de ideas, lo que da cuenta de la discusión grupal previo a la realización de los comentarios en los foros.

Dentro de los errores más comunes pueden listarse los siguientes:

- Asumir que el modelo tridimensional generado en la pantalla del dispositivo móvil es la proyección plana.
- Confundir tensión estérica con torsional.
- Utilizar los términos “confórmero” y “conformación” como sinónimos.

#### IV. OPINIONES DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LAS CARACTERÍSTICAS Y USO DE LA APLICACIÓN EN EL APRENDIZAJE

Para poder conocer la opinión de los estudiantes acerca del uso de la aplicación en la enseñanza y aprendizaje de la isomería conformacional, se efectuó una breve encuesta voluntaria utilizando un formulario de *GoogleForms*. De las respuestas obtenidas (un total de 6, tres de la cohorte 2020 y tres de la 2021), pudo verificarse que: todos los estudiantes encuestados consideran que la aplicación funciona adecuadamente, valorando como “buena” (en 3 de las respuestas) o “muy buena” la velocidad de carga de los modelos en el dispositivo móvil. En cuanto a la valoración de la calidad de las imágenes correspondientes a los modelos 3D que se generaron en la pantalla de su dispositivo, todos indicaron “muy bueno” (máxima valoración positiva). En relación al funcionamiento de todos los marcadores, todos indicaron que funcionaron correctamente. Asimismo, todos, con excepción de uno, indicaron que todas las opciones de visualización de los modelos que aparecieron en la pantalla de su dispositivo (casillas a tildar para incluir la animación de modelos, cambios de conformación, etc.) funcionaron correctamente.

Por otra parte, al indagar qué tipos de modelos 3D les resultaron más útiles (los estáticos, los animados o ambos), la mitad de los encuestados optó por “ambos”, mientras que la otra mitad prefirió los modelos animados. En relación a qué modelos les resultaron más útiles para comprender mejor el tema, dos tercios de los encuestados indicó “todos” y los restantes eligieron los modelos del ciclohexano. Dentro de las razones que brindaron respecto a la elección de los modelos más útiles, expresaron comentarios como los siguientes:

*“Al ver los modelos en 3 dimensiones te resulta más sencillo interpretar los análisis”*

*“Todos los modelos 3D resultan útiles porque la información es más clara ya que se pueden visualizar bien los diferentes confórmeros.”*

*“Si bien me tocó la consigna de analizar los ciclohexanos, con todos los modelos pude apreciar la forma de la molécula sin dificultades.”*

*“En mi caso me aportó una mirada más ilustrativa y más detallada de cómo son las conformaciones de los distintos compuestos”*

*“El del butano porque me permitió ver en 3D las diferentes proyecciones y por qué se hacen. Es algo que sobre papel es muy difícil de entender. El resto está muy bueno también, para visualizar posición ecuatorial y axial.”*

*“Entre esos dos pude plasmar conceptos que tenía pero no entendía del todo, por ejemplo, los enlaces rotan y el átomo de cloro es más grande, una cosa es pensarlo y otra visualizarlo. Creo que no hubiera entendido reacciones tan bien sin la app”*

Por otra parte, al solicitar a los estudiantes que valoren la utilidad de la aplicación en el aprendizaje de la “isomería conformacional, empleando la escala “nada”, “poco” y “mucho”, todos contestaron “mucho” en relación a los siguientes aspectos:

- favorece el estudio de las diferentes conformaciones
- sirve para aprender cómo rotan enlaces las uniones sigma y a girar las moléculas en tres dimensiones
- facilita la visualización de posibles interacciones estéricas (por ejemplo, gauche, interacciones 1,3-diaxiales, etc.)
- sirve para identificar diferentes perspectivas de observación de las moléculas en tres dimensiones (anterior, posterior, superior, inferior, lateral, etc.)

En relación a qué modificaciones realizarían a la aplicación para mejorar el aprendizaje, algunos de ellos hicieron referencia a la incorporación de más modelos o a la posibilidad de modificar de manera interactiva los sustituyentes, para generar nuevos modelos según las necesidades del usuario.

## V. REFLEXIONES FINALES

A partir del análisis de las respuestas de los estudiantes a las actividades propuestas, puede observarse que en la mayoría de los casos, fueron capaces de reconocer las conformaciones más características para el etano, el butano y el ciclohexano. También, la mayoría de los estudiantes pudieron identificar los distintos tipos de tensión que explican diferencias de estabilidad entre diferentes conformaciones.

Por otra parte, los textos escritos que los estudiantes elaboraron para comunicar sus conclusiones dan cuenta del desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas (principalmente la descripción), empleando el lenguaje verbal específico de la química y realizando traducciones entre lenguajes simbólicos.

En general, se observó que la aplicación “Confórmoros” favoreció la interacción entre los estudiantes, promoviendo el trabajo colaborativo en el entorno virtual, la motivación y el interés en el aprendizaje y mejorando la comprensión de los temas abordados. Dentro de las ventajas del uso de este tipo de recursos, puede sumarse el hecho de que para su funcionamiento no se requiere internet ni resulta necesario imprimir los marcadores, permitiendo visualizar los modelos desde un material didáctico multimedia o desde una página web en la que esté incrustada o embebida la imagen del marcador.

Entre las desventajas encontradas, pueden considerarse las dificultades técnicas vinculadas con la visualización de ciertos modelos, dependiendo del modelo y de la versión del sistema operativo instalada en el dispositivo móvil. Asimismo, el hecho de no contar con sistema operativo *Android* en algunos celulares o tabletas resultó un obstáculo debido a que los estudiantes que no tenían ese sistema operativo no pudieron instalar la aplicación. Finalmente, fue la frecuente confusión de modelos tridimensionales con proyecciones planas, tal vez debido a que las proyecciones de Newman se encuentran integradas en los marcadores para algunos de los compuestos.

En la actualidad, se están desarrollando materiales didácticos multimedia que incluyen los marcadores de esta y otras aplicaciones de RA de modo tal de integrar las tecnologías inmersivas a los recursos utilizados para promover el aprendizaje de esta y otras unidades temáticas y el desarrollo de habilidades visoespaciales.

## REFERENCIAS

- Almgren, J., Carlsson, R., Erkkonen, H., Fredriksson, J., Møller, S., Rydgård, H., Österberg, M., Bötschi K., Fjeld, M. (2005). Tangible User Interface for Chemistry Education: Visualization, Portability and Database. SIGRAD. Linköping University, 19-24.
- Cuendet, S., Bonnard, Q., Do-Lenh, S. y Dillenbourg P. (2013). Designing augmented reality for the classroom. *Computers & Education*, 68, 557-569.
- Dettorre, L., Gudiño, E., Sabaini, M. y Valino, A. (2019). *Errores conceptuales y obstáculos en el aprendizaje de la isomería espacial de compuestos cíclicos en un curso universitario de química orgánica*. Actas XXXII Congreso Argentino de Química, Buenos Aires, Argentina: AQA (Asociación Química Argentina).
- Fatemah, A., Rasool, S. y Habib, U. (2020). Interactive 3D Visualization of Chemical Structure Diagrams Embedded in Text to Aid Spatial Learning Process of Students. *Journal of Chemical Education*, 97 (4), 992-1000.
- Farré, A. S., Zugbi, S. y Lorenzo, M. G. (2014). El significado de las fórmulas químicas para estudiantes universitarios: El lenguaje químico como instrumento para la construcción de conocimiento. *Educación química*, 25 (1), 14-20.
- Galagovsky, L. y Bekerman, D. (2009). La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los

estudiantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 952-975.

Galizia, F., Dettorre, L. A. y Sabaini, M. B. (2019). *Confórmeros* (1.1). Android. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes. [software].

Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, 56 (2) 13-21.

Mathewson, J. H. (1999). Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, 83 (1), 33–54.

Merino, C.; Pino, S.; Meyer, E.; Garrido, J. y Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26 (2), 94-99.

Pérez Bnítez, A. (2008). La equivalencia entre las paridades de los intercambios de dos sustituyentes y las reflexiones especulares, en la determinación de la quiralidad de átomos tetraédricos: ¡Una demostración con espejos!. *Educación Química*, 19 (2), 146- 151.

Perren, M. y Odetti, H. (2006). Dificultades especiales en un curso de Química General. *Educación en la Química*, 12 (1), 3-11.

Ruiz Cerrillo, S. (2020). Realidad aumentada y aprendizaje en la química orgánica. *Apertura*, 12 (1) e-ISSN 2007-1094.

Ruiz Torres, D. (2011). Realidad Aumentada, educación y museos. *Revista ICONO 14. Revista Científica De Comunicación Y Tecnologías Emergentes*, 9 (2), 212-226.