



Paradigma

Revista de Investigación Educativa

Realidad virtual como estrategia de enseñanza y aprendizaje para la geometría tridimensional

Virtual reality as a teaching and learning tool for three-dimensional geometry

^{a,*} **Brahiam Ramírez Jofré**, ^b **Marcelo González Díaz**, ^c **Ricardo Zambrano Reyes**

^a brahiam.ramirez@pucv.cl. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
<https://orcid.org/0000-0002-7482-4067>

^b marcelo.gonzalez.d@mail.pucv.cl. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
<https://orcid.org/0000-0003-2091-3168>

^c ricardo.zambrano@pucv.cl. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
<https://orcid.org/0000-0002-4644-9167>

Resumen

Este artículo presenta y analiza los resultados de una propuesta didáctica implementada con Realidad Virtual (RV) para abordar las dificultades en la enseñanza y aprendizaje de proyecciones ortogonales en geometría tridimensional. Mediante un análisis cualitativo interpretativo, se evaluaron las respuestas de cuatro estudiantes de secundaria (16-17 años), participantes de un curso de Geometría 3D, utilizando la Aproximación Instrumental y la Teoría de Registros de Representaciones Semióticas como marcos de análisis. Tras tres sesiones, se observó un cambio positivo sustancial en las respuestas de los estudiantes, lo que evidencia el potencial de la RV para mejorar la realización de proyecciones ortogonales. Un hallazgo relevante fue la observación de que el estudiante con menor interacción activa con la RV presentó el menor grado de mejora en sus respuestas, subrayando la importancia del involucramiento con la tecnología.

Palabras clave: geometría 3D, realidad virtual, innovación didáctica, educación matemática

*Autor para correspondencia

<https://doi.org/10.5377/paradigma.v32i53.20557>

Recibido: 1 de marzo de 2025 | Aceptado: 30 de mayo de 2025

Disponibile en línea: junio de 2025

Paradigma: Revista de Investigación Educativa | ISSN 1817-4221 | EISSN 2664-5033 | CC BY-NC-ND 4.0

Abstract

This article presents and analyzes the results of an instructional proposal implemented with Virtual Reality (VR) to address the difficulties in the teaching and learning of orthogonal projections in three-dimensional geometry. Through a qualitative interpretative analysis, the responses of four secondary school students (16-17 years old), participating in a 3D Geometry course, were evaluated using the Instrumental Approach and the Theory of Semiotic Representation Registers as analytical frameworks. After three sessions, a substantial positive change was observed in the students' responses, which highlights the potential of VR to improve the performance of orthogonal projections. A relevant finding was the observation that the student with the least active interaction with VR showed the least degree of improvement in their responses, underscoring the importance of engagement with technology.

Keywords: 3D geometry, virtual reality, didactic innovation, math education

Introducción

Estudios recientes destacan que la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) mejoran la comprensión de conceptos abstractos al permitir la manipulación interactiva de objetos 3D (Buentello Montoya et al., 2021; Mavromatis et al., 2025; Wang et al., 2024). Estas realidades sumergen al alumnado en entornos virtuales que facilitan la exploración autónoma de figuras tridimensionales, incluso en contextos con limitaciones tecnológicas, al aprovechar dispositivos móviles para reducir barreras de acceso al visualizar conceptos y objetos complejos en 3D (Radianti et al., 2020; Soto Ramos, 2024).

La utilización de la RV está presente en diversas propuestas de enseñanzas, las cuales son concluyentes al señalar que la RV puede ser empleada para mejorar el aprendizaje, motivar a los estudiantes y fomentar el interés por el contenido (Slavova y Mu, 2018; Su et al., 2022). Esta puede ser beneficiosa en situaciones de incapacidad perceptiva (Stelios et al., 2022), educación a distancia (Walkington et al., 2025) y para mejorar la capacidad espacial de estudiantes, pues quienes han hecho uso de RV han mostrado mejoras en este aspecto en comparación con quienes no la han usado en un entorno de aprendizaje (Yarin y Gamarra, 2023; Moral Sánchez et al., 2023).

Considerando estas ventajas de la RV, el artículo pretende explorar la contribución de esta herramienta para reducir los problemas asociados a la visualización espacial encontrados en estudios previos (Ramírez et al., 2023), en el cual más de la mitad de los estudiantes de secundaria no lograron comprender el objeto mediante una de sus representaciones, identificándose problemas en las visualizaciones que realizaron.

Los resultados del estudio previo de Ramírez et al. (2023) no son un caso aislado, pues se han evidenciado dificultades en diversas investigaciones con respecto al razonamiento espacial, errores en respuestas influenciadas por la intuición y la información visual (Fujita et al., 2017; 2020) o dificultades

del estudiantado en la visualización por falta de habilidades visoespaciales (Ali et al., 2017). Esto evidencia una problemática transversal tanto en la visualización como en el razonamiento espacial en el estudiantado.

Los antecedentes presentados en el trabajo de Ramírez et al. (2023) impulsaron la creación de una propuesta didáctica haciendo uso de tecnología y material concreto, sosteniendo que trabajar con representaciones de cuerpos geométricos impresos (representación 1D o 2D de una representación 3D) influye en las percepciones y dimensiones reales de estas figuras (Duval, 1998), además, que la transformación de dimensión, como el caso de realizar proyecciones ortogonales, implica que los estudiantes desarrollen habilidades para imaginar y manipular el objeto mentalmente.

En este contexto, la propuesta didáctica que se detalla en este artículo implementa la RV como tecnología central para la enseñanza de la geometría 3D. El propósito fundamental de esta propuesta es abordar las dificultades que se suelen enfrentar al relacionar representaciones tridimensionales con sus correspondientes vistas bidimensionales, especialmente en tareas que involucran el análisis de vistas, cortes, proyecciones en el plano o la deconstrucción de figuras geométricas. Así, el estudio se planteó con el objetivo de reducir los errores y las dificultades en la visualización espacial de estudiantes, explorando cómo la RV puede mejorar sus respuestas al trabajar con proyecciones ortogonales de cuerpos geométricos. Concretamente, esta investigación buscó responder la siguiente pregunta: ¿De qué manera contribuye una intervención didáctica con RV a mejorar la comprensión y la calidad de las representaciones de proyecciones ortogonales de cuerpos geométricos elaboradas por estudiantes de secundaria?

Discusión teórica

Las gafas de realidad virtual son el acceso a un entorno simulado creado por un usuario, estas son un artefacto que adquieren funcionalidad cuando el usuario le asigna una utilidad. Para avalar el uso de la RV en la enseñanza de proyecciones ortogonales, se consideró la aproximación instrumental (Artigue, 2011) cuyos fundamentos están en la Teoría de Ergonomía Cognitiva de Rabardel (1995) al proporcionar un marco teórico que legitima prácticas educativas con tecnología y en la Teoría Antropológica de lo Didáctico (TAD) de Chevallard (1999) para abarcar tareas (actividades) y técnicas (estrategias).

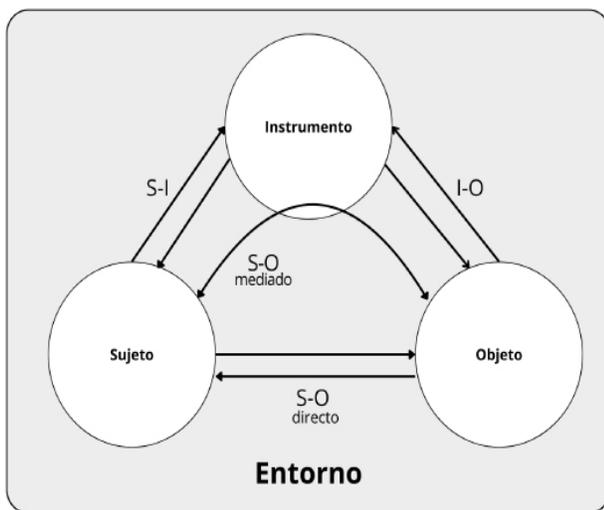
Rabardel (1995) aporta una perspectiva teórica sobre la interacción entre humanos y artefactos, argumentando que los artefactos además de ser herramientas para realizar actividades también influyen en el proceso de aprendizaje de las personas, teniendo una organización del pensamiento estable y estructurado a través de tres esquemas: *Esquemas de Uso* (tareas secundarias de cómo se utiliza el artefacto para llevar a cabo la tarea, incluyendo el conocimiento de la interfaz, funciones y otros aspectos); *Esquema de Acción Instrumentada* (atender tareas centrales, usando el artefacto para cumplir la tarea en dos etapas: en la apropiación y en la integración del artefacto); *Esquema de Actividad Colectiva Instrumentada* (describe cómo un grupo utiliza artefactos para llevar a cabo una actividad común).

Se distingue entre artefacto e instrumento, considerando el artefacto desde una perspectiva técnica y funcional: la técnica aborda aspectos como software, programación, materiales, peso y tamaño; lo funcional se refiere a cómo se integra el artefacto en una actividad y su influencia en el pensamiento y la comprensión. El artefacto se transforma en instrumento cuando se integra en actividades, proceso conocido como Génesis Instrumental, que comprende las etapas de instrumentación (familiarizarse con el artefacto para conocer su uso) e instrumentalización (adaptar el objeto a sus necesidades).

Para llevar a cabo las observaciones en el aula, se empleó el modelo SAI (Situaciones de Actividades Instrumentadas), que establece la relación entre el sujeto (estudiante), la tarea (con el objeto matemático) y el instrumento (RV) (ver Figura 1). Este modelo actúa como herramienta para el análisis de tareas, planteando que el instrumento es el mediador entre el sujeto y el objeto, lo que permite el acceso al conocimiento del objeto matemático.

Figura 1

Triada de las situaciones de la actividad instrumentada



Nota. Traducido de Rabardel (1995, p. 53).

Se distinguen tres niveles de acción instrumentada: en el primer nivel se hace uso directo del instrumento. Esta etapa requiere una interacción perceptual y motora del usuario con el instrumento como un objeto físico. El segundo nivel requiere una mayor comprensión y manipulación del instrumento, lo que permite al usuario realizar actividades más complejas con él. Durante esta etapa, el usuario combina sus capacidades y conocimientos con el uso del instrumento para alcanzar un objetivo particular. El tercer nivel de la acción instrumentada es la capacidad del usuario para adaptarse al instrumento a contextos y situaciones específicas, lo que implica una comprensión completa de las posibilidades del instrumento en sí, así como las necesidades y demandas de la tarea a realizar.

La RV ofrece nuevas formas de visualizar información espacial y, a través de interacciones bien diseñadas, puede ser un medio eficaz para desarrollar estas habilidades (Gittinger y Wiesche, 2023; Sohail et al., 2025), por lo que otra manera en que se evaluó el uso de RV en la propuesta didáctica, fue en las producciones de los estudiantes y su desempeño al realizar las tareas con la Teoría de Registros de Representación Semiótica (TRRS), pues desarrollarán tareas con representaciones de un objeto matemático y colocarán en práctica habilidades visoespaciales.

Duval (1993) establece que el acceso al conocimiento matemático se limita a la cantidad y calidad de las representaciones, la cual puede ser mental, como un conjunto de imágenes y concepciones internas; o representación semiótica, un conjunto de signos que visibilizan conceptos a través de diversos registros (tabular, numérico, gráfico, figural, algebraico o lenguaje natural).

Duval (1999a) plantea que no se accede directamente al objeto matemático, sino que se hace a través de sus representaciones, por lo que define tres tipos: la representación semiótica, que utiliza signos y símbolos; la representación visual, que emplea signos visuales; y la representación discursiva, que utiliza lenguaje natural.

Además, se deben considerar algunas definiciones clave para interpretar las representaciones emanadas de las respuestas de los estudiantes: la visualización, que es una habilidad para manipular y transformar representaciones visuales, facilitando la comprensión y el razonamiento matemático (Duval, 1999a); la aprehensión, que es la capacidad de utilizar técnicas para operar visualmente como la percepción, la comunicación y la manipulación, las cuales se complementan y son esenciales para una comprensión completa de los conceptos matemáticos (Duval, 1999b).

Métodos y materiales

Enfoque

Se realizó un análisis cualitativo interpretativo, utilizando el enfoque fenomenológico, en cuatro estudiantes. A cada uno se le aplicó una experiencia de aprendizaje centrada en introducir las proyecciones ortogonales mediante las vistas ortogonales con y sin uso de un entorno virtual, cuyo propósito era relacionar figuras 3D y 2D en las que se intervengan vistas, cortes, proyecciones en el plano o la deconstrucción de figuras. La interpretación de los datos se enfocó en cómo los estudiantes interactúan con la RV para responder a las tareas y qué tipos de respuestas entregan desde la TRRS.

Unidades de análisis

El criterio de inclusión de participantes fue a quienes tuvieran un curso escolar especializado de geometría tridimensional, sin haber iniciado el contenido de proyecciones ortogonales. Estos participantes, por muestreo por conveniencia, fueron de un establecimiento educacional de Viña del Mar (Chile) que

impartía dicho curso. La docente a cargo consultó a sus estudiantes el interés de participar en el estudio y cuatro de ellos (tres hombres y una mujer, entre 16 a 17 años) fueron los interesados y posteriormente incorporados para la muestra.

Todos los participantes y sus padres/tutores responsables firmaron un consentimiento de participación, el cual fue acordado por la dirección del establecimiento y los investigadores, en el que se incluyó el permiso a grabar, fotografiar, entrevistar y experimentar con RV en las dependencias del establecimiento en horario habitual de clases, asegurando el resguardo de los datos por uno de los investigadores e informando el uso de los resultados para fines investigativos ocultando la identidad de los involucrados.

Técnicas de recolección

La implementación experimental fue en tres sesiones de 90 minutos cada una, en el establecimiento educacional en el cual asistían los participantes. Las sesiones fueron grabadas e implementadas por uno de los autores de este artículo. El método de obtención de datos se realizó mediante la visualización de los videos de las sesiones, observación participante del investigador, las respuestas escritas de los estudiantes a los cuestionarios y a las tareas de la propuesta didáctica, y de entrevistas grupales semi estructuradas al finalizar la tercera sesión.

Procesamiento de análisis

Las respuestas físicas de los estudiantes fueron resguardadas por uno de los investigadores, luego digitalizadas, anonimizadas y compartidas en una base en línea con los demás investigadores, en conjunto a los videos. Las respuestas a los cuestionarios y a las tareas fueron clasificadas por cada investigador en categorías que emanaron inicialmente desde [Ramírez et al. \(2023\)](#) (como respuesta experta, intercambiar vistas, representar vistas en 3D, entre otras), luego se establecieron por consenso la clasificación de las respuestas, encontrándose nuevas categorías que serán reportadas en los resultados.

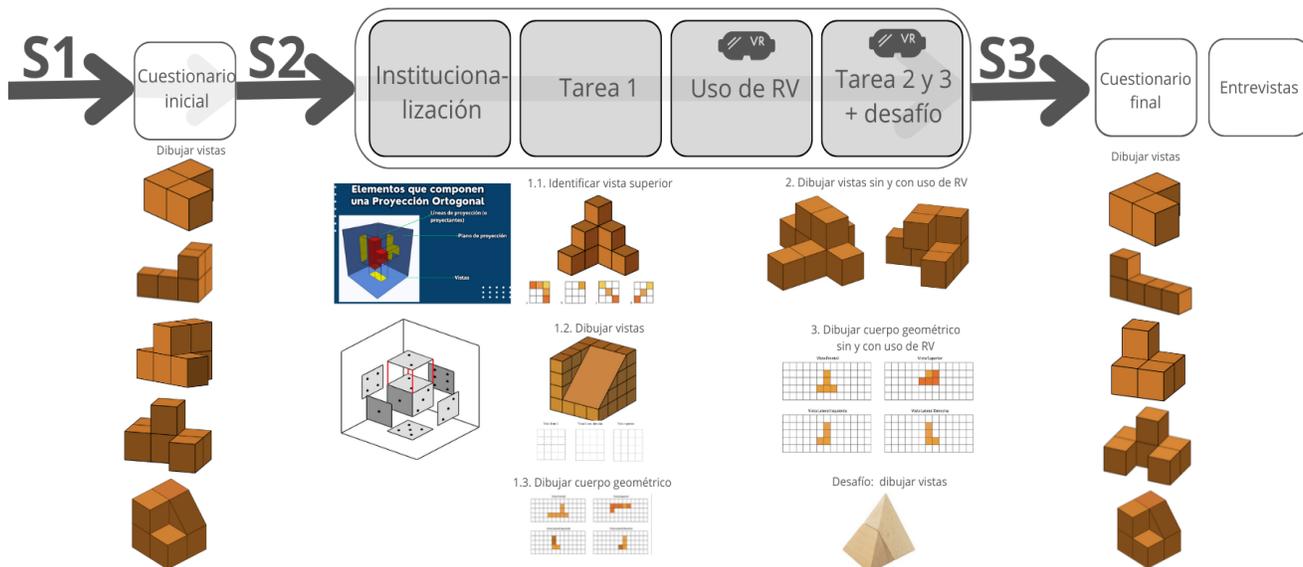
Las grabaciones fueron transcritas y los momentos analizados según los planteos de observación del modelo SAI, los esquemas de uso, los niveles de acción instrumentada y la actividad colectiva instrumentada.

Experiencia de aprendizaje

La propuesta se centró en la introducción de proyecciones ortogonales mediante el uso de RV, evidenciando los cambios en los tipos de respuestas de los estudiantes desde cuestionarios pre y post implementación. Las actividades requirieron que los estudiantes generaran vistas de figuras geométricas y dibujaran cuerpos geométricos a partir de vistas. Se planteó una organización de tres sesiones (Figura 2) con las etapas de recolección de datos e implementación.

Figura 2

Organización de la experiencia de aprendizaje de tres sesiones (S1, S2 y S3)



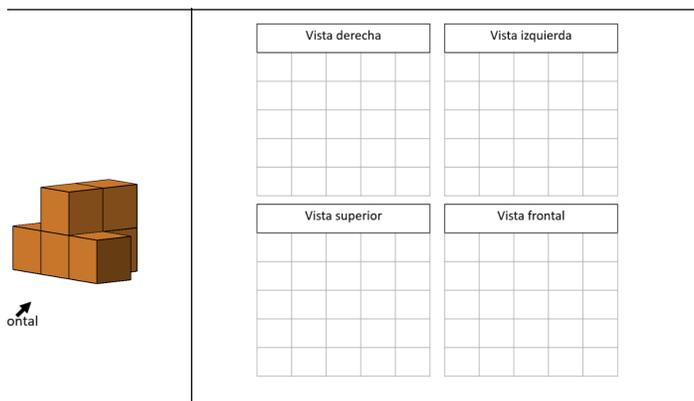
Nota. Elaboración propia.

Cuestionario inicial

En la primera sesión se plantearon cinco tareas sobre vistas ortogonales similares a los diseños policúbicos de Saralar et al. (2018), replicados por Ramírez et al. (2023). Para cada cuerpo geométrico, se debió representar la vista solicitada (derecha, izquierda, superior, frontal y/o trasera) mediante su dibujo. El diseño de todos los cuerpos se realizó en GeoGebra.

Figura 3

Un cuerpo geométrico del cuestionario inicial



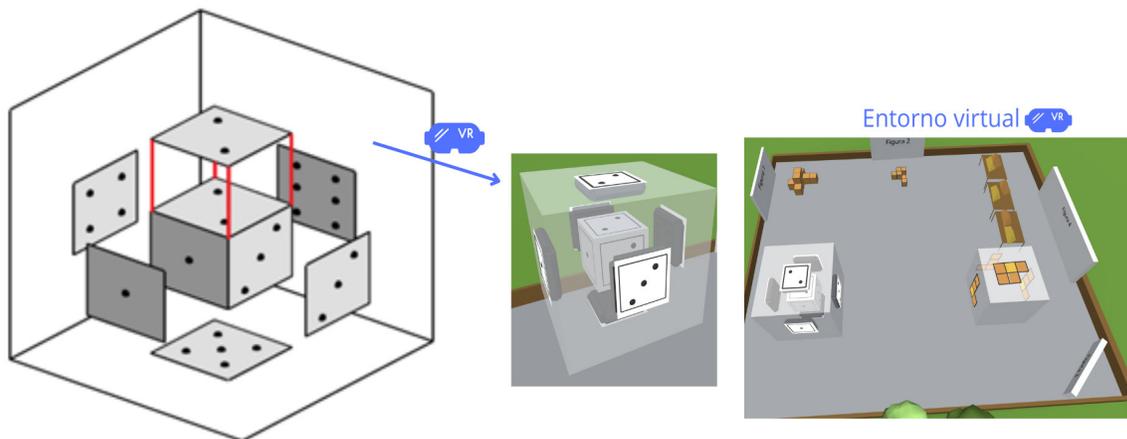
Nota. Elaboración propia.

Institucionalización

Al iniciar la segunda sesión, se mostró la Figura 4 (lado izquierdo) en presentación de diapositiva para identificar conceptos iniciales como proyección, vistas (superior, inferior, frontal, trasera, lateral derecha, lateral izquierda), rectas proyectantes y dimensiones de las figuras (visualizada en 3D, en 2D y en 1D). Luego se mostró el entorno virtual a los estudiantes, creado en la plataforma gratuita, en línea, CoSpace.

Figura 4

Ejemplificación del concepto de proyección ortogonal y presentación del entorno virtual



Nota. Elaboración propia.

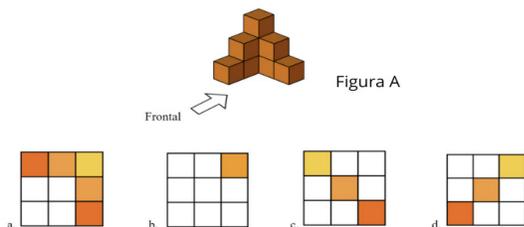
Luego, se hizo la primera tarea individual de la sesión 2 (10 minutos) para identificar cambios en el conocimiento a priori de los estudiantes. En esta tarea (Figura 5) se identificó la vista superior de un cuerpo policúbico, se dibujaron las vistas (frontal, derecha y superior) de un cuerpo policúbico con cortes y el cuerpo geométrico que se forma a partir de cuatro vistas entregadas (frontal, superior, izquierda y derecha).

Figura 5

Parte 1, 2 y 3 de la primera tarea de la sesión 2

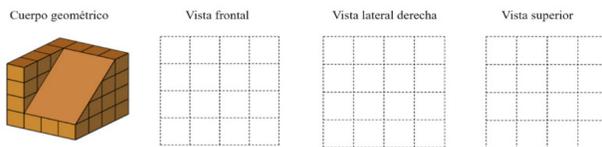
Parte 1

¿Cuál de las siguientes opciones es una representación de la vista superior de la figura A? (encierra la letra que corresponda).



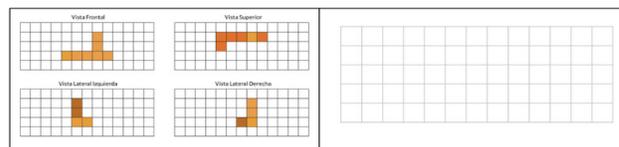
Parte 2

Dibuje las vistas solicitadas del cuerpo geométrico.



Parte 3

Dibuje el cuerpo geométrico que se forma con las vistas representadas.



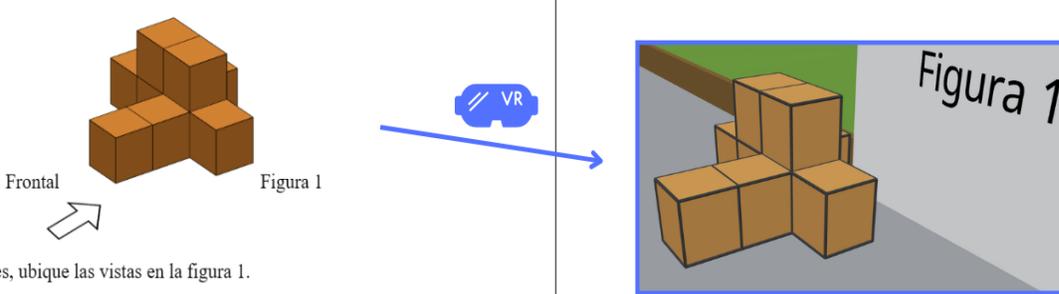
Nota. Elaboración propia.

La tarea 2 o Tarea Instrumentada (40 minutos) se realizó en parejas, enfocada en identificar vistas (indicar con flechas sobre la figura, dibujar vistas superior, frontal e izquierda) de dos figuras policúbicas antes y durante el uso de RV (ver ejemplo en Figura 6).

Figura 6

Una figura de la tarea 2 de la sesión 2 en que se debió hacer uso del entorno virtual

La Figura 1 está formada por cubos (figura policúbica), a partir de ella, realice las actividades desde la opción **a** hasta la **d**.



a) Con flechas y nombres, ubique las vistas en la figura 1.

A continuación, responda las preguntas de la **b** a la **d** en las columnas *Sin tecnología* y *Con tecnología*. Puede hacer uso de cualquier recurso para responder.

| | Actividad | Sin tecnología | Con tecnología | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| b) | Dibuja la vista superior de la figura 1. | <table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | <table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota. Elaboración propia.

Se dispuso de dos gafas de RV sobre la mesa sin dar instrucciones de uso, los estudiantes indagaron por voluntad propia cómo funcionan, percatándose que una de las gafas no tenía un entorno virtual, por lo que se asoció que debían adecuarlo, más bien, se les dispuso de dos artefactos, solo uno adecuado para la tarea.

En la tercera tarea se planteó el paso de representaciones de 2D a 3D, dibujando el cuerpo geométrico que se forma a partir de sus vistas, viendo el material impreso y el entorno virtual (según Figura 7).

Finalizada la tarea 3, se planteó un desafío que inició con identificar las vistas de una pirámide formada por dos trozos iguales, dibujarlas para la pirámide (superior, frontal, trasera) y el trozo (superior, derecha), y finalmente respondieron a la pregunta *¿Son los dos trozos de madera iguales?* Cuestionando al enunciado y justificando desde su experiencia con y sin RV.

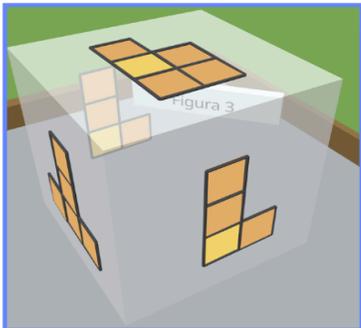
Figura 7

Entorno virtual de la parte final de la tarea 3 y su entorno virtual

Parte 3
 Dibujen el cuerpo geométrico que se forma con las vistas indicadas. Para dibujar usando el entorno virtual, dirijase a la Figura 3.

Figura 3

| Sin entorno virtual | Con entorno virtual | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <table border="1"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | <table border="1"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Tarea de desafío sin y con uso de RV

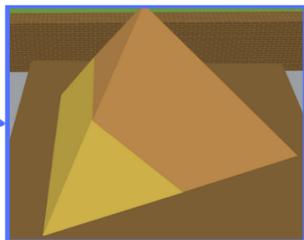
Tarea de desafío individual
 La siguiente es una pirámide regular triangular que está compuesta por dos sólidos (trozos de madera) ensamblados que son iguales.

Figura 4

a) Con flechas y nombres, ubique las vistas en la figura 4.

A continuación, responda las preguntas de la **b** a la **d** en las columnas *Sin tecnología* y *Con tecnología*. Puede hacer uso de cualquier recurso para responder.

| Actividad | Sin tecnología | Con tecnología | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| b) Dibuja la vista superior de la pirámide | <table border="1"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | <table border="1"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Nota. Elaboración propia.

Las tareas fueron diseñadas para que los estudiantes cumplieran con dos etapas sobre los recursos (como lápices, libros de geometría, acceso a sus celulares, lentes RV):

- La etapa de *Apropiación* por medio de: preguntar sobre artefactos; observarlos; manipularlos; verificar funcionamiento; y valorar su efectividad.
- La etapa de *Integración* por medio del uso del artefacto para cumplir con la actividad.

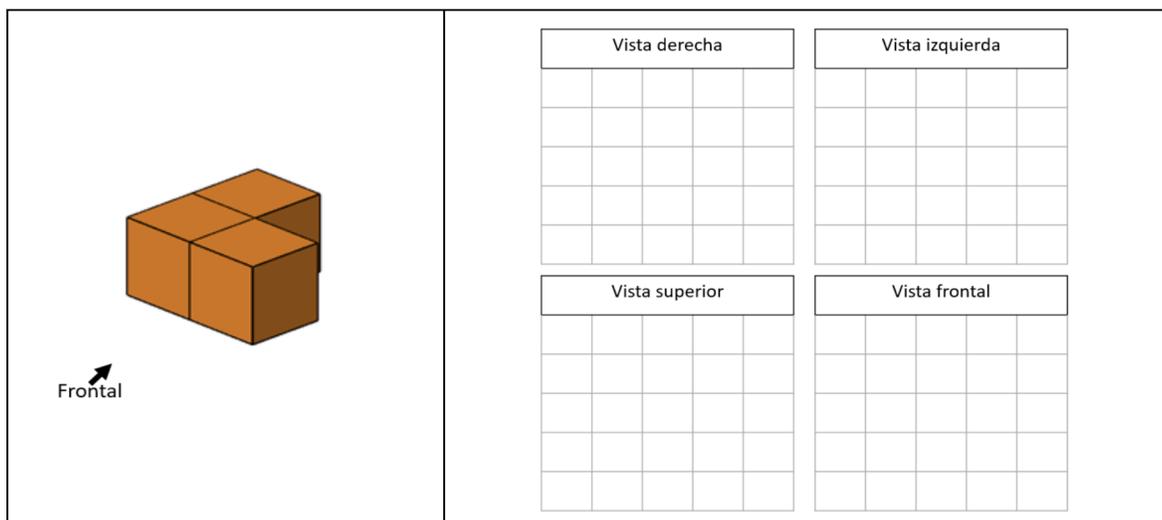
Cuestionario final

En la tercera sesión, se empleó un cuestionario similar al inicial, con 5 cuerpos geométricos y sus vistas (por ejemplo, ver Figura 9).

Figura 9

Cuerpo geométrico del cuestionario final

Observe las figuras y dibuje las vistas que se solicitan:



Nota. Elaboración propia.

Para finalizar las sesiones, se realizaron las siguientes preguntas en una entrevista semi estructurada:

- ¿Qué opinas sobre usar la realidad virtual para identificar las vistas de un objeto geométrico? Pregunta con la finalidad de conocer el punto de vista de los estudiantes respecto a la implementación de este nuevo recurso en el aula.
- ¿Estás de acuerdo con que, si hubieses utilizado realidad virtual en el cuestionario inicial, te hubiese resultado más fácil dibujar las vistas? El foco de esta pregunta es analizar la efectividad de la propuesta de innovación por parte de los estudiantes aludiendo a un trabajo en procesos cognitivos de orden superior (Bloom et al., 1956).

- ¿Cómo mejorarías el entorno virtual en el que fuiste inmerso? Para evaluar la propuesta de innovación para la enseñanza de proyecciones ortogonales, permitiendo acceder a la figura geométrica en entorno virtual. Esta pregunta se avala por pertenecer a un proceso cognitivo de orden superior (evaluar) en la Taxonomía de Bloom (Bloom et al., 1956).
- Según tu percepción, ¿Cómo contribuye el uso de la realidad virtual al realizar proyecciones ortogonales de cuerpos geométricos? Para evaluar qué aporte hace la propuesta al aprendizaje del contenido geométrico.

Resultados

En la tarea instrumentada (sesión 2), se formaron dos parejas (identificados como grupos G1 y G2), en los cuales G1 estuvo compuesto por E2 y E3, mientras que G2 por E1 y E4.

Análisis desde la aproximación instrumental

Primer nivel de acción instrumentada

En este nivel se requirió que los estudiantes interactuaran directamente con las gafas de RV y su entorno virtual. La interacción se dio luego de la tarea 1 (sin uso de RV), en la cual G1 adquirió el lente RV que estaba preparado con el entorno virtual, en cambio, G2 indagó cómo hacer funcionar el lente RV (manifestando esquemas de uso antes de iniciar con tareas).

En la instrumentación (familiarizarse con el artefacto), ambos grupos indagaron en el entorno virtual, descubriendo cómo moverse en él por medio del control físico de las gafas. En el momento de entregar la tarea instrumentada, G2 adapta el teléfono celular de E4 para acceder al entorno virtual, esto fue la transformación del artefacto para realizar la tarea (instrumentalización), como se aprecia en el momento de la Figura 10.

Figura 10

G2 adaptando el artefacto para cumplir con la tarea desde su propio teléfono



Nota. Elaboración propia.

Segundo nivel de acción instrumentada

El segundo nivel de la acción instrumentada requirió que los estudiantes hicieran uso de sus capacidades y conocimientos para usar el entorno virtual para responder a la tarea 2, la cual solicitó dibujar las vistas ortogonales de un cuerpo geométrico sin usar RV y usando RV, en el G1, E2 dibujó en ambos casos (sin y con RV) lo que E3 le instruyó, por lo que solo E3 hizo uso de las gafas de RV, E2 lo hizo de vez en cuando para confirmar en situaciones específicas lo que E3 le dijo (primera escena de la Figura 11). Y en el G2, ambos estudiantes hicieron uso de RV distribuyendo las tareas a realizar (segunda escena de la Figura 11).

Figura 11

Trabajo de grupos en la Tarea Instrumentada



Nota. Elaboración propia.

Tercer nivel de acción instrumentada

Los grupos evidenciaron el dominio del entorno virtual al desplazarse en él y al encontrar cada una de las figuras a las que aludían las tareas. Debido a que la tarea fue grupal, lo sucedido en este tercer nivel de acción instrumentada (capacidad de adaptar el instrumento para cumplir con las demandas de las tareas) se refleja en las tres etapas del esquema de actividad colectiva instrumentada (labores del grupo para cumplir con la tarea):

Etapa 1 de preparación. En esta etapa los alumnos se distribuyeron roles: en el G1, E2 dibujó y E3 usó el entorno virtual guiando a E2, además identificaron los recursos que emplearon para llevar a cabo la tarea (episodio a continuación), en el cual no solo estuvo la RV, sino que las habilidades del alumno bajo el concepto de *imaginación*:

Profesor: *¿qué harán para cumplir la tarea?*

E3: *ocupar esto [gafas de RV] y la imaginación.*

Mientras que el G2 distribuyó que E1 dibujara en el apartado de vistas con RV y E2 el apartado sin RV, aunque ambos hicieron uso de la RV y sus respuestas fueron en consenso, e identificaron que usarían el lápiz, borrador, gafas como objeto, el control para moverse en el entorno virtual y el teléfono que es la vía de visualización de la imagen.

Etapa 2 de ejecución. Antes de terminar las tareas, se consultó a ambos grupos cómo las llevaron a cabo, a lo que ambos grupos respondieron que fue por medio de imaginar la figura (parte sin tecnologías) y con RV (parte con tecnologías).

Etapa 3 de evaluación. Culminadas las tareas, se preguntó sobre los resultados obtenidos y ambos grupos manifestaron estar de acuerdo con los resultados y E3 agrega: “sí, llegamos a un consenso”.

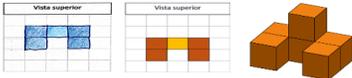
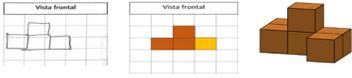
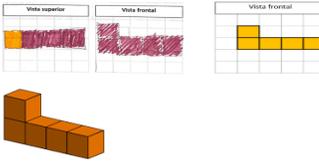
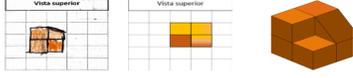
En esta etapa, la evaluación se centró en el uso de RV para responder la tarea, para lo cual, ambos grupos le otorgan una evaluación positiva (mediante el discurso oral), ya que les permitió ver lo que en la imagen impresa no perciben.

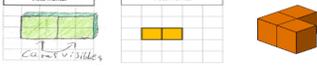
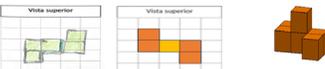
Resultados desde las representaciones del objeto geométrico en cuestionarios y tareas

En la Tabla 1 se muestran cada tipo de respuestas encontradas en los cuestionarios, siendo la del Tipo A la que no contiene errores para esta investigación.

Tabla 1

Tipos de respuestas en cuestionarios

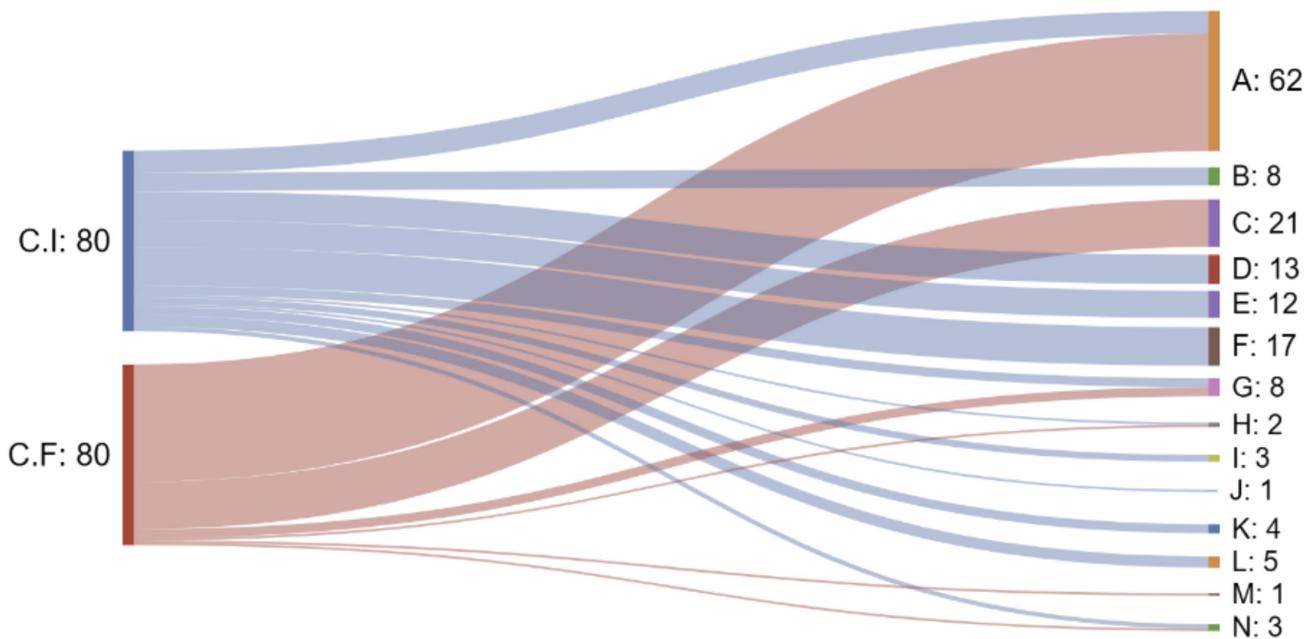
| Tipo | Descripción y resultados | Evidencia (respuesta alumno/respuesta experta/figura) |
|------|--|---|
| A | Se determina de manera correcta la vista de la figura, indicando mediante diferentes tonalidades la profundidad dependiendo de lo que esté más cerca o más lejos del observador. Hubo 52 de este tipo de respuestas en el cuestionario final y 10 en el cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 4, cuestionario final)</p> |
| B | No representar la noción de profundidad, realizando el esbozo en una sola tonalidad (o sin ella) y, por tanto, no se distingue qué está más cerca o lejos del observador. Se evidenció en 8 respuestas únicamente en el cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 3, cuestionario inicial)</p> |
| C | No utilizar el mismo criterio para representar la profundidad de las vistas, utilizando un tipo de tonalidad para lo más cercano al observador y no manteniendo el mismo tono en otras vistas de la misma figura. Este tipo de respuesta se repitió en 21 ocasiones solo en el cuestionario final. |  <p>(Estudiante 3, cuestionario final)</p> |
| D | Cambiar la dimensión de los mismos elementos dentro de una representación (por ejemplo, cuadrados de diferentes tamaños). Se presentó en 13 respuestas del cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 4, cuestionario inicial)</p> |

| Tipo | Descripción y resultados | Evidencia (respuesta alumno/respuesta experta/figura) |
|------|---|---|
| E | Representar tridimensionalmente a una vista que es en 2D. 12 respuestas de este tipo se presentaron en el cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 2, cuestionario inicial)</p> |
| F | Se alude a la profundidad de la figura (proyección plana perspectiva). Se presentó en 17 respuestas en el cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 1, cuestionario inicial)</p> |
| G | Rotar la orientación de la figura (no usa la misma orientación que ha usado anteriormente). 8 respuestas de este tipo se presentaron (4 en cada cuestionario). |  <p>(Estudiante 2, cuestionario final)</p> |
| H | Hacer reflexión de la vista con respecto a un eje. Se presentó en dos casos (uno por cuestionario). |  <p>(Estudiante 1, cuestionario inicial)</p> |
| I | Dibujar otra vista. En 3 casos del cuestionario inicial surgió la representación de una vista que no corresponde con la solicitada. |  <p>(Estudiante 4, cuestionario inicial)</p> |
| J | Representar las caras más lejanas al observador. Un caso en el cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 2, cuestionario inicial)</p> |
| K | Representar la parte superficial de la figura (en algunos casos tridimensional). Se presentó en 4 casos del cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 2, cuestionario inicial)</p> |
| L | Combinar las dimensiones en un mismo dibujo. Se presentaron 5 casos en el cuestionario inicial. |  <p>(Estudiante 2, cuestionario inicial)</p> |
| M | Deformar la representación, forzando la perspectiva. Un caso en el cuestionario final. |  <p>(Estudiante 2, cuestionario inicial)</p> |
| N | Otro tipo de respuesta. Esto se ocasiona por la imposibilidad de clarificar la idea del estudiante. Se presentó en dos momentos del cuestionario inicial y en uno del cuestionario final. |  <p>(Estudiante 2, cuestionario inicial)</p> |

El cuestionario inicial (C.I.) evidenció 12 tipos de respuestas (considerar que, al ser 5 figuras geométricas, cada una tiene 4 vistas a las que responder, por lo que, al ser 4 estudiantes participantes, el total de respuestas en cada cuestionario es 80), de las cuales se aprecia que en mínima parte corresponden a respuestas del Tipo A (ver Figura 12). Mientras que el cambio evidenciado en el cuestionario final (C.F.) tuvo una tendencia mayoritaria (65%) hacia respuestas Tipo A (de un total de 6 tipos de respuestas).

Figura 12

Flujo en tipos de respuestas entre el cuestionario inicial y el cuestionario final



Nota. Elaboración propia.

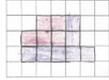
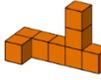
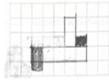
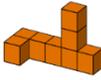
Los tipos de vista que mayor error presentaron corresponden a la vista trasera e izquierda. En el caso de la trasera, no se obtuvieron respuestas Tipo A en el cuestionario inicial, mientras que en el final se obtuvo un 50%. Además, la vista izquierda inicialmente tuvo un 5% de este tipo de respuestas, mientras que al final, un 45%.

En relación con construir el cuerpo geométrico a partir de sus vistas, se presentaron los tipos de respuestas en las tareas de la sesión 2, detalladas en la Tabla 2.

Los tipos de respuestas mostraron el cambio de cada alumno en la visualización de las figuras y cómo a través de la trayectoria de las 3 sesiones cambió la manipulación mental empleada, evidenciando un mayor grado de detalles en las representaciones luego de aplicar una proyección ortogonal.

Tabla 2

Tipos de respuestas en el dibujo de cuerpos geométricos

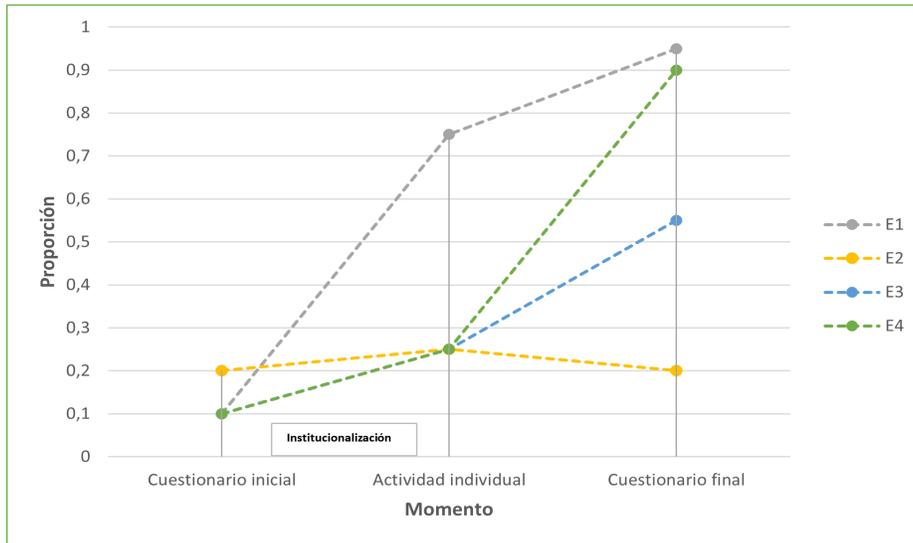
| Tipo | Descripción y resultados | Evidencia (respuesta alumno/respuesta experta) |
|------|--|--|
| A2 | Correcta representación. Esta respuesta solo se evidenció por parte del grupo 2 en la Tarea Grupal Instrumentada (usando RV). |   (Grupo 2, usando RV). |
| B2 | Mezclar las vistas 2D. En dos oportunidades (E1 en la tarea individual sin RV y G2 sin RV) se utiliza una representación que mezcla las vistas que se entregan a los estudiantes. |   (Grupo 1, sin RV) |
| C2 | Confundir la profundidad de la representación. En una oportunidad, G2 sin RV. |   (Grupo 2, sin RV) |
| D2 | Hacer uso de cuadrículas inapropiadamente, perdiendo las dimensiones de la figura representada. En una oportunidad, G2 sin RV. |   (E4, sin RV) |
| E2 | Mezclar la dimensión de la representación. En un caso E3 sin RV. |   (E3, sin RV) |
| F2 | Otro tipo de respuesta. En dos casos (E2 sin RV y G1 con RV) no se logra identificar la intención de la representación. |   (Grupo 1, sin RV) |

La institucionalización del contenido hizo aumentar en respuestas correctas a los estudiantes, aunque luego de la actividad individual, nuevamente volvió a aumentar la cantidad de respuestas tipo A. Sin embargo, el mayor cambio en las respuestas se dio en E4 (ver Figura 13), luego de usar RV. Por el contrario, E2 se mantuvo entre el inicio y el final con la misma proporción, no evidenciando una mejora significativa durante las sesiones.

En relación con las tareas de dibujar un cuerpo geométrico 3D a partir de sus vistas ortogonales (ver ejemplo de la Figura 14), ningún alumno demostró dominar la representación de la figura en la tarea individual (tarea 1, parte 3). En cambio, cuando se trabajó en grupos (tarea 3), solo G2 por medio de la RV logró dibujar correctamente la figura 3D.

Figura 13

Proporción de respuestas del tipo A1 en cada estudiante



Nota. Elaboración propia.

Figura 14

Seguimiento de representaciones al dibujar cuerpo geométrico

| Estudiante | Tarea individual | Tarea instrumentada |
|------------|------------------|---------------------|
| | | |
| E1 | | |
| E4 | | |
| E2 | | |
| E3 | | |

Nota. Elaboración propia.

En aspectos generales, G1 no demostró tener avances significativos en sus representaciones durante la Tarea Instrumentada realizada de manera grupal (tareas 2 y 3), sin embargo, sus representaciones cambian de tener errores estructurales, de orientación y de intercambio de vistas, a considerar perspectivas al observar desde el entorno virtual. Mientras que G2 debido al tiempo no logró colorear sus representaciones; aun así, su cambio fue hacia tener respuestas del tipo A; sin embargo, debido a que en un inicio cometieron errores en cuanto a orientación y ubicación de cuadrados, estos se lograron corregir usando RV.

Tarea de desafío

E1 no se despegó de ver las vistas de la pirámide tridimensionalmente, aunque presenta una mejora en la vista trasera (la no visible) al usar RV. Al dibujar los trozos que componen la pirámide, no pudo identificar la figura correcta, concluyendo que los trozos no son iguales debido a que las *“proporciones de estos son distintas”*; E2 no evidencia mejora significativa en sus representaciones, solo presenta una vista correcta realizada con RV. Concluye que los trozos de madera no son iguales pues *“uno de ellos cubre más espacio en la pirámide”*; E3 mejoró sus representaciones (en dos casos) al usar RV y en dos casos mantuvo correctamente su representación. Concluye que *“sin RV ve las figuras iguales, pero con RV no las ve iguales”*; Mientras que E4 logró identificar que la pirámide es de base triangular al usar RV cambiando su representación, aun así, no tiene representaciones completamente correctas sin y con uso de RV. Concluye que sin usar RV logra apreciar que *“un trozo es más grande”*, mientras que, con RV *“sí son iguales y se complementan para formar la pirámide”*.

Entrevistas

Con respecto a las entrevistas y cuestionario de motivaciones, ante la pregunta: *¿qué procedimiento empleaste para dibujar las vistas?* E1 y E3 comparten que se hizo por medio de la imaginación, mientras que E4 detalló este concepto de imaginación por medio de la habilidad de manipular la imagen para ver sus vistas y cumplir con la tarea bajo aspectos del razonamiento espacial:

E4: Prácticamente recrear la figura en la cabeza, imaginar completamente, por así decirlo, moviéndola [mentalmente] para ver cómo quedaba.

Además, los alumnos manifestaron que no solo era necesario el lente para mejorar su rendimiento en tareas similares a los cuestionarios, sino que de un entorno virtual con el que se pudiese interactuar, como lo menciona E4, aludiendo que el artefacto por sí solo no tiene utilidad si no está acondicionado para cumplir con tareas:

E4: Cuando pasa a ser realidad es cuando interactúas con ella, porque el solo hecho de verlo es lo mismo que sea una imagen.

Una vez realizada la tarea instrumentada, E3 manifiesta su opinión al usar RV para identificar las vistas de un cuerpo geométrico, apreciando positivamente su uso como instrumento para cumplir con la tarea que resolvieron.

E3: La mejor forma de hacerlo [al dibujar vistas] es con la realidad virtual porque, si no, queda mucho a la imaginación.

Conclusiones

Este estudio buscó determinar de qué manera una intervención didáctica con RV contribuye a mejorar la comprensión y la calidad de las representaciones de proyecciones ortogonales elaboradas por estudiantes de secundaria. Los hallazgos indican que la intervención con RV contribuyó a una mejora en la calidad de las representaciones gráficas producidas por los estudiantes. Este avance en la habilidad para representar adecuadamente las proyecciones ortogonales sugiere una mejor comprensión de los objetos tridimensionales y sus relaciones espaciales. Dicha mejora se atribuye a que la RV proporcionó un entorno interactivo que permitió a los estudiantes manipular virtualmente los cuerpos geométricos y explorarlos desde múltiples perspectivas inmersivas. Esta capacidad de interacción directa parece haber facilitado una internalización más efectiva de la estructura de los objetos y de la transición entre las dimensiones 3D y 2D, lo que se reflejó en la superación de dificultades de visualización espacial y en la notable reducción de errores en sus respuestas.

Desde la aproximación instrumental (Artigue, 2011; Rabardel, 1995), se observó cómo los estudiantes transformaron las gafas de RV de un artefacto a un instrumento de aprendizaje. La familiaridad previa con tecnologías similares facilitó la etapa de instrumentación, y la adaptabilidad se manifestó cuando un grupo de estudiantes, al tener una de las gafas sin el entorno virtual precargado, recurrió a sus propios dispositivos móviles para configurarla, evidenciando un proceso de instrumentalización, en el cual los estudiantes adaptaron el artefacto a sus necesidades para cumplir con la tarea. Se evidenciaron los tres niveles de acción instrumentada, culminando en la capacidad de los estudiantes para adaptar y dominar el instrumento en función de las demandas de las tareas, especialmente en aquellos que lideraron el uso de la RV en sus grupos (E3 y E4), aunque se constató que el grado de integración del instrumento varió entre los participantes (por ejemplo, E2, quien no prefirió utilizar RV).

En cuanto a la TRRS de Duval (1993; 1999a), la RV demostró ser una herramienta potente para facilitar la aprehensión de las figuras geométricas y mejorar la visualización. Los estudiantes manifestaron en las entrevistas haber realizado manipulaciones mentales de las figuras; la RV complementó y potenció esta habilidad al ofrecer una representación explícita y manipulable del objeto 3D. Esto se reflejó en un aumento sustancial de respuestas correctas (Tipo A) en el cuestionario final (52 respuestas) en comparación con el inicial (10 respuestas), y en una mejora de las representaciones a vistas ocultas como la trasera e izquierda. Aunque el dibujo de cuerpos geométricos a partir de vistas (transformación de 2D a 3D)

presentó desafíos, el grupo G2 logró una representación correcta utilizando RV, sugiriendo su potencial para mediar en esta conversión entre registros de representación, en contraste con las dificultades persistentes con material impreso, donde factores como el color a veces generó confusión en la profundidad. Además, E2 quien tuvo el menor uso de RV, fue quien presentó la menor calidad en sus respuestas, en comparación con sus compañeros. En el caso de la tarea de desafío, los resultados no permiten deducir que la RV ha sido efectiva, pero sí se apreció que incrementó la calidad de las representaciones al hacerlas más similares a una correcta.

El impacto positivo de la RV observado se alinea con investigaciones previas que destacan cómo esta tecnología mejora la comprensión de conceptos abstractos mediante la manipulación interactiva de objetos 3D (Buentello Montoya et al., 2021; Mavromatis et al., 2025; Wang et al., 2024) y facilita la visualización de conceptos complejos (Radianti et al., 2020). Además, los resultados respaldan la idea de que la RV puede mejorar la capacidad espacial de los estudiantes (Yarin y Gamarra, 2023; Moral Sánchez et al., 2023) y fomentar el interés y la motivación (Slavova y Mu, 2018; Su et al., 2022).

La principal implicación educativa de este estudio es que la RV, incluso con recursos accesibles (gafas económicas y software gratuito como CoSpaces), puede ser una herramienta pedagógica eficaz en la enseñanza de la geometría 3D. Permite a los estudiantes interactuar con los objetos de una manera que el material impreso no puede ofrecer, fomentando el desarrollo de habilidades visoespaciales y, como señalaron Flores et al. (2021) respecto al uso de tecnologías, potencialmente, el pensamiento crítico. La personalización de entornos virtuales (Rodríguez Cano y Delgado Benito, 2022) y la promoción de la memoria visual (Robinson y Aronica, 2015) son ventajas adicionales que pueden enriquecer la experiencia de aprendizaje.

No obstante, se reconocen las limitaciones del estudio y los desafíos inherentes al uso de RV, como el tamaño reducido de la muestra limita generalizar los resultados. La selección por conveniencia y el hecho de que los participantes pertenecieran a un curso de geometría tridimensional podrían introducir un sesgo, al igual que la posible automotivación de los estudiantes al querer ser voluntarios. Si bien se optó por dispositivos de bajo costo, se debe considerar la barrera económica para una implementación masiva, así como la necesidad de considerar las experiencias individuales de los estudiantes (mareos o dificultades visuales, especialmente para quienes usan lentes ópticos), lo que requiere sensibilidad y adaptabilidad por parte del docente.

Estas limitaciones y desafíos abren direcciones futuras para la investigación, considerando que sería valioso e interesante realizar estudios con muestras más grandes y diversas para confirmar estos hallazgos. Investigar la escalabilidad de estas intervenciones en aulas con diferentes niveles de acceso tecnológico, incluyendo la exploración del uso extendido de dispositivos móviles personales de los estudiantes (Soto Ramos, 2024) como visores de RV, podría ofrecer soluciones para una implementación más amplia.

Estudios longitudinales podrían evaluar la retención a largo plazo de las habilidades espaciales adquiridas. Asimismo, se sugiere investigar el diseño de entornos virtuales aún más interactivos y adaptativos, que permitan, por ejemplo, la deconstrucción y construcción explícita de cuerpos a partir de sus vistas dentro del mismo entorno virtual. También se sugiere capacitar a los docentes para diseñar los entornos virtuales, pues se requiere conocimientos específicos sobre el software y recursos adecuados. Así, su integración en el currículo escolar podría fomentar un enfoque más globalizado y adaptativo frente a un mundo tecnológicamente avanzado y en constante evolución.

Agradecimientos

Agradecimientos a la Dra. Ma. Alicia Venegas Thayer y al Mg. Eduardo Fernández Tapia por su colaboración en la investigación basal de la que se emana este artículo.

Referencias bibliográficas

- Ali, F., Omar, M., Ibrahim, N., Surif, J., Ali, M. e Ismail, S.** (2017). Overcoming the problems faced by student's in learning engineering drawing with the implementation of augmented reality learning environment. *Man in India*, 97(17), 147-159.
- Artigue, M.** (2011). Tecnología y enseñanza de las matemáticas: desarrollo y aportaciones de la aproximación instrumental. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 6(8), 13-33. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cifem/article/view/6948>
- Bloom, B., Englehart, M. Furst, E., Hill, W. y Krathwohl, D.** (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain*. Longmans.
- Buentello Montoya, D., Lomelí Plascencia, M. y Medina Herrera, L.** (2021). The role of reality enhancing technologies in teaching and learning of mathematics. *Computers & Electrical Engineering*, 94(1), 107287. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107287>
- Chevallard, Y.** (1999). El análisis de las prácticas docentes en la teoría antropológica de lo didáctico. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-266.
- Duval, R.** (1993). Registros de Representación Semiótica y Funcionamiento Cognitivo del Pensamiento. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Duval, R.** (1998). Registros de Representación Semiótica y Funcionamiento Cognitivo del Pensamiento. En F. Hitt (Ed.), *Investigaciones en Matemática Educativa II*, (pp.173-201). Grupo Editorial Iberoamericana.
- Duval, R.** (1999a). *Representation, vision and visualization: Cognitive Functions in Mathematical Thinking*. Basic Issues for Learning.

- Duval, R.** (1999b). *Semiosis y pensamiento humano: : registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Universidad del Valle.
- Flores, F., Vásquez, C. y González, F.** (2021). El uso de las TIC en la enseñanza de conceptos geométricos en la educación básica. RIDE. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(3). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1024>
- Fujita, T., Kondo, Y., Kumakura, H. y Kunimune, S.** (2017). Students' geometric thinking with cube representations: Assessment framework and empirical evidence. *The journal of mathematical behavior*, 46, 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2017.03.003>
- Fujita, T., Kondo, Y., Kumakura, H., Kunimune, S. y Jones, K.** (2020). Spatial reasoning skills about 2D representations of 3D geometrical shapes in grades 4 to 9. *Mathematics Education Research Journal*, 32, 235-255. <https://doi.org/10.1007/s13394-020-00335-w>
- Gittinger, M. y Wiesche, D.** (2023). Systematic review of spatial abilities and virtual reality: The role of interaction. *Journal of Engineering Education*, 113(4), 919–938. <https://doi.org/10.1002/jee.20568>
- Mavromatis, M., Gaugne, R., Coulon, R. y Gouranton, V.** (2025). *A Whole New World: Can Virtual Reality Help to Understand Non-Euclidean Geometries?* GRAPP 2025 - 20th International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, VISIGRAPP Porto, Portugal.
- Moral Sánchez, S., Sánchez Compañía, M. y Romero Albaladejo, I.** (2023). Uso de realidad virtual en geometría para el desarrollo de habilidades espaciales. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(1), 125-147. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5442>
- Rabardel, P.** (1995). *Les Hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J. y Wohlgenannt, I.** (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, 1 lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Ramírez, B., González, M. y Zambrano, R.** (2023). Errores que cometen los estudiantes de tercero y cuarto año de enseñanza media en vistas ortogonales de figuras geométricas 3D. *Revista Chilena De Educación Matemática*, 15(2), 46–62. <https://doi.org/10.46219/rechiem.v15i2.125>
- Robinson, K. y Aronica, L.** (2015). *Escuelas creativas: La revolución que está transformando la Educación*. Grijalbo.
- Rodríguez Cano, S. y Delgado Benito, V.** (2022). Educación, Tecnologías Digitales e Investigación: proyecto de realidad aumentada y virtual FORDYSVAR. *Video Journal of Social and Human Research*, 1(2), 57-69. <https://doi.org/10.18817/vjshr.v1i2.26>

- Saralar, I., Ainsworth, S. y Wake, G.** (2018). Middle school students' errors in two-dimensional representations of three-dimensional shapes. *Research in Mathematics Education*, 20(2), 1-3. <https://doi.org/10.1080/14794802.2018.1482475>
- Slavova, Y. y Mu, M.** (2018). *A Comparative Study of the Learning Outcomes and Experience of VR in Education*. 25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces RV 2018 - Proceedings, 685–686. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446486>
- Sohail, M., Habib, U. y Rasool, S.** (2025). VR Stereo Thrills & Spills: An Immersive Virtual Reality Game for Enhancing Student Understanding of Stereoisomerism. *Journal of Chemical Education*, 102(5). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00112>
- Soto Ramos, M.** (2024). 3DGeoMuseum: Solid geometry through Virtual Reality. *International Conference on Virtual Learning*, 19(1), 179-192. <https://doi.org/10.58503/icvl-v19y202415>
- Stelios, S., Tzavaras, P. y Dermata, M.** (2022). Virtual Reality in education: Attempting an epistemic justification. *European Journal of Teaching and Education*, 5(1), 55–62. <https://doi.org/10.33422/ejte.v5i1.933>
- Su, Y., Cheng, H. y Lai, C.** (2022). Study of Virtual Reality Immersive Technology Enhanced Mathematics Geometry Learning. *Frontiers in Psychology*, 13, 760418. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.760418>
- Walkington, C., Sherard, M., Daughrity, L., Pande, P., Beauchamp, T. y Cuevas, A.** (2025). The affordances and constraints of mathematics tutoring in immersive, collaborative, and dynamic virtual reality environments. *Virtual Reality*, 29(60), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01122-3>
- Wang, L., Zhang, Q. y Sun, D.** (2024). Exploring the Impact of An Augmented Reality-Integrated Mathematics Curriculum on Students' Spatial Skills in Elementary School. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23, 387–414. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10473-3>
- Yarin, Y. y Gamarra, H.** (2023). La realidad virtual y su efecto en la habilidad espacial: un caso de estudio enfocado en la enseñanza de la geometría descriptiva. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 23(73). <https://doi.org/10.6018/red.540091>