

USOS DE NEOTRIE VR Y SU EFECTO EN LA EXPLICITACIÓN DE SIGNIFICADOS: UNA COMPARACIÓN CON GEOGEBRA 3D

Uses of NeoTrie VR and its effect on the explicitation of meanings: a comparison with GeoGebra 3D

Molina, O. y Mendoza, A.

Universidad Pedagógica Nacional

Resumen

Es escasa la investigación sobre cómo son los esquemas de utilización asociados a un software de realidad virtual como NeoTrie VR, si estos difieren a los asociados a un software de geometría dinámica como GeoGebra y, en consecuencia, si su papel para construir o hacer ostensivos significados de objetos relativos a la geometría tridimensional cambian entre un tipo de software y otro. Presentamos resultados parciales de un experimento de enseñanza con rasgos de un estudio comparativo, mediante el cual describimos esquemas de utilización asociados a ambos softwares, desplegados por dos estudiantes de un programa de formación de profesores de matemáticas (Colombia), cuando construyen un cuadrilátero alabeado con un ángulo recto. Indicamos cómo los rasgos inmersivos de presencia y agencia de NeoTrie VR estimulan esquemas de utilización diferentes a los de GeoGebra y cómo ello influye en la explicitación de significados de objetos como espacio y alabeidad, y en la aparición de conflictos entre lo perceptivo y la necesidad teórica.

Palabras clave: NeoTrie VR, GeoGebra 3D, formación de profesores de matemáticas, esquemas de utilización, significados.

Abstract

There is little research on the utilization schemes associated with virtual reality software such as NeoTrie VR, whether these differ from those associated with dynamic geometry software such as GeoGebra, and, consequently, whether their role in constructing or making explicit the meanings of objects related to three-dimensional geometry varies between the two types of software. We present partial findings from a teaching experiment with elements of a comparative study, in which we describe utilization schemas associated with both software programs, as reported by two students in a preservice mathematics teacher training program (Colombia), when they solve a task involving the construction of a skewed quadrilateral with a right angle. We show how the immersive features of presence and agency in NeoTrie VR stimulate utilization schemes different from those in GeoGebra and how this influences the articulation of meanings of objects such as space and skewness, and the emergence of conflicts between perception and certain theoretical needs.

Keywords: NeoTrie VR, GeoGebra 3d, preservice mathematics teacher program, utilization scheme, meanings.

INTRODUCCIÓN

En la última década, la realidad virtual inmersiva (RVI) se ha convertido en un campo consolidado de investigación educativa. Su incorporación en distintos niveles formativos responde tanto al desarrollo acelerado de dispositivos accesibles como a la búsqueda de experiencias de aprendizaje que los use. Diversos estudios sugieren que la RVI puede favorecer la motivación, la autonomía y el aprendizaje cuando las tareas están cuidadosamente diseñadas; también advierten que sus beneficios no se derivan automáticamente del medio tecnológico, sino de la articulación entre el entorno inmersivo, las demandas cognitivas y el método pedagógico adoptado (Makransky y Petersen, 2021).

El estudio, cuyos resultados parciales que reportamos, se basa en NeoTrie VR (NT), un software de RVI diseñado para promover el estudio de asuntos de la geometría del espacio tridimensional y el desarrollo de habilidades del razonamiento visoespacial; su uso se viene popularizando desde 2017, en el contexto de la formación de profesores de matemáticas. Por ejemplo, Codina-Sánchez et al. (2022) y Rodríguez (2024) realizaron una práctica de enseñanza exploratoria realizada con futuros profesores de secundaria usando NT, en la que se abordaron diversos tipos de objetos (e. g., poliedros). Ambas indagaciones apuntaron a detectar ventajas y dificultades que surgen al usar NT, además de propiciar un escenario en donde los participantes pudieran crear actividades mediadas por este recurso. García y Romero (2024) hicieron un estudio con un grupo de estudiantes para maestro relativo a la comprensión de magnitudes de superficie y volumen. Los resultados de los análisis evidenciaron una mejora más significativa para los estudiantes que usaron realidad virtual en relación con el grupo que usó materiales manipulativos.

Aunque estudios como estos hacen referencia al uso de NT en comparación con otros recursos como materiales manipulativos o GeoGebra 3D (G3D), ninguno de ellos describe los esquemas de utilización (Rabardel, 1995) asociados a NT. Tampoco, si producto de su carácter inmersivo, estos difieren a los asociados a G3D y, en consecuencia, si su papel para construir o hacer ostensivos significados de objetos relativos a la geometría tridimensional cambian entre un software y otro. El objetivo de este trabajo es describir los esquemas de utilización asociados a ambos softwares para identificar diferencias o similitudes entre estos e identificar si los rasgos de inmersión de NT tienen un efecto diferenciador en los significados que producen los estudiantes sobre algunos objetos de geometría tridimensional como espacio y alabeidad. El escenario fue un curso de geometría del espacio de un programa de formación de profesores de matemáticas en Colombia.

REFERENTES CONCEPTUALES

NT, al ser un recurso de RVI, se caracteriza por dos aspectos esenciales (Makransky y Petersen, 2021): la *presencia* considerada como la sensación psicológica de estar dentro del entorno virtual; y la *agencia* que se refiere a la capacidad del usuario de actuar e influir en ese entorno mediante sus decisiones e interacciones con él. Juntas determinan la calidad de la experiencia inmersiva y su impacto en el aprendizaje o la simulación. Concretamente, en NT la percepción *de estar dentro* provee una sensación psicológica de tridimensionalidad en la que los movimientos corporales permiten desplazamiento en el entorno para, por ejemplo, visualizar de mejor manera un objeto que se percibe tridimensional a partir de sus representaciones virtuales. Aunque el software posibilita la gravedad de objetos, no genera sensaciones hápticas de textura o fuerza. Por otro lado, NT posibilita una acción directa sobre representaciones virtuales de objetos geométricos básicos (puntos, segmentos o rectas, planos) que permite manipularlos con los mandos en el espacio virtual (rotarlos, cambiarlos de posición o de apariencia, etiquetarlos, etc.) y construir otros más complejos a partir de estos y de herramientas relativas a relaciones geométricas (perpendicularidad, paralelismo, etc.).

Las condiciones de agencia y presencia de NT determinan los usos que los sujetos hacen del software al momento de abordar tareas específicas. Como sugiere Pellas et al. (2021) es un reto comprender con mayor precisión de qué manera ello sucede, no solo para describir el papel del software en la actividad matemática de los estudiantes y en la construcción de significados, sino para generar procesos de reflexión que permitan determinar cómo los aspectos diferenciadores entre NT y otros softwares como G3D, si los hay, influyen procesos educativos. Mediante este estudio pretendimos asumir ese reto; para hacerlo, decidimos describir los usos que estudiantes dieron a NT y G3D cuando abordaron una tarea de geometría específica; la aproximación instrumental de Rabardel (1995) es un enfoque propicio para ello, por cuanto provee herramientas analíticas con las cuales identificar esquemas de utilización desplegados por los sujetos cuando resuelve una tarea con artefactos. Enseguida describimos sucintamente tal aproximación.

Aproximación instrumental: del artefacto al instrumento

Un artefacto es cualquier objeto utilizado como herramienta para realizar una tarea (Rabardel, 1995). Cuando un sujeto establece una relación con un artefacto para realizar una tarea específica, en la que el artefacto se utiliza de una manera particular para un fin específico, este se convierte en un instrumento (el sujeto experimenta un proceso de génesis experimental). Un instrumento es una noción teórica, la combinación de un artefacto y algunos esquemas mentales desarrollados por el usuario, que despliega al utilizar ese artefacto para realizar una tarea. Estos esquemas, llamados esquema de utilización, son organizaciones invariantes de hábitos mentales relativos al abordaje de tareas específicas. La transición de un artefacto a un instrumento requiere dos procesos entrelazados que provienen de la relación del individuo con el artefacto: la instrumentalización, vista como el reconocimiento de los componentes de un artefacto, sus limitaciones y posibilidades para resolver una tarea; y la instrumentación, vista como la aparición y el desarrollo de esquemas de utilización del artefacto al resolver tareas. Los esquemas no son directamente observables, por lo cual es necesario tener una contraparte observable para referirse a ellos. Asumimos que las acciones de los estudiantes con los softwares son las partes observables de los esquemas. Para efecto de este reporte, enfatizamos en el proceso de instrumentación; así, describimos esquemas de los estudiantes mientras utilizan NT y G3D, y los significados sobre objetos del espacio tridimensional que tales esquemas desvelan.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Bajo un enfoque cualitativo, la estrategia investigativa empleada en el estudio es un experimento de enseñanza, con rasgos de un estudio comparativo. Es pertinente por cuanto posibilita analizar aspectos sobre la naturaleza de los significados cuando se involucran estrategias de enseñanza enriquecidas con artefactos. Tiene rasgos de un estudio comparativo porque cotejamos los usos que estudiantes hacen de dos tipos de artefactos (NT y G3D), sin acudir a un grupo control y un grupo experimental. En todo caso, sí pretendimos establecer aspectos diferenciadores en los usos de dichos artefactos y determinar el efecto de tales usos en los significados de los estudiantes. En concordancia con la estrategia escogida, en primer lugar, diseñamos una secuencia de 5 tareas de construcción que debían ser abordadas en G3D y luego en NT, que implicaban cuadriláteros alabeados y tetraedros con características especiales; a priori, las tareas involucraban procedimientos de construcción de puntos no coplanares, segmentos alabeados, recta perpendicular a un plano y plano perpendicular a una recta. En este escrito, nos concentramos en la primera tarea y con ella, en significados asociados a los objetos segmentos alabeados y espacio tridimensional. El sentido de que los estudiantes usaran ambos softwares responde a nuestra curiosidad por establecer si, mediante una comparación de usos entre estos, los esquemas asociados a NT tenían maneras específicas de manifestación, y con ello, si los significados de tales objetos diferían o no cuando se usaba G3D.

Luego, la secuencia de tareas se implementó en varias sesiones de 120 minutos. Todas las sesiones se grabaron en audio y vídeo; asimismo, las producciones escritas de los estudiantes fueron fotocopias. El escenario de la investigación fue un curso de geometría del espacio de un programa de formación de profesores de matemáticas. Los estudiantes tenían experiencia con GeoGebra 2D pues su uso era frecuente en los cursos previos de geometría plana; su experiencia con G3D y NT era nula al inicio del experimento. Hubo sesiones para que ellos se familiarizaran con los softwares en el marco de un proceso de instrumentalización. La tarea protagonista de este reporte, ocurre en las tres primeras sesiones; su enunciado es: *proporciona un procedimiento en G3D para construir un cuadrilátero alabeado con un ángulo recto. Luego, resuelve la tarea usando NT*. Terminado el proceso de resolución por parte de los estudiantes en la primera sesión, los autores del reporte estudiaron sus producciones; ello permitió planear una gestión para la segunda y la tercera sesión en las que la interacción entre los estudiantes y el profesor del curso (uno de los autores de este reporte) permitiera hacer ostensivos los esquemas y significados. Para efectos de este reporte, fueron escogidas las producciones de dos estudiantes (S y R). Esto, porque tales producciones fueron prototípicas e ilustraban muy bien esquemas de utilización y significados asociados los objetos de interés.

Finalmente, analizamos las producciones de los estudiantes S y T. Para ello, utilizamos la propuesta de Sua et al. (2023), la cual explicita indicadores que operativizan el proceso de instrumentación (ver Tabla 1). Usamos tales indicadores para cada software, con el propósito de identificar y describir esquemas asociados a cada uno; así, tuvimos insumos para determinar si difieren entre NT y G3D. Asociado a la identificación de tales indicadores en la producción de los estudiantes, tuvimos en cuenta los rasgos de agencia y presencia de NT para indicar si están presentes en los esquemas y si inducen o hacen ostensivos significados asociados a los objetos citados previamente. Vale decir, que los tipos de significados establecidos fueron emergentes de los análisis.

Tabla 1*Indicadores del proceso de instrumentación*

Código	Indicador	Descripción
E1	Identificar un esquema asociado con una o más herramientas.	Se reconoce que un conjunto de pasos con una o más herramientas es eficaz para obtener un resultado concreto. El conjunto de pasos no se conocía anteriormente.
E2	Elaborar un esquema para obtener un resultado concreto.	Se elabora/define un esquema al utilizar la herramienta que conduce a obtener el mismo resultado.
E3	Adaptar un esquema al resolver un problema.	Se mejora un esquema incluyendo o eliminando algunos pasos, para ampliar su alcance o perfeccionarlo.
E4	Utilizar el mismo esquema en diferentes tareas.	El esquema que se ha elaborado/modificado se utiliza de forma rutinaria para resolver diferentes problemas.

ESQUEMAS Y SIGNIFICADOS DE LOS ESTUDIANTES

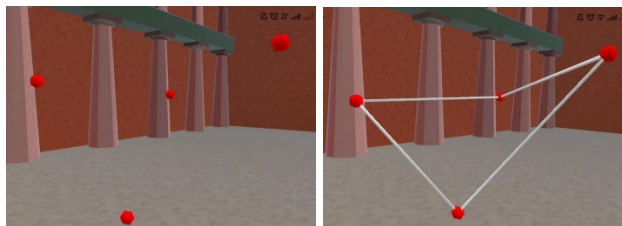
Enseguida, describimos y analizamos tanto las producciones de los estudiantes cuando abordaron el problema, como sus respuestas durante la interacción con los investigadores. Para efectos de este reporte y con el ánimo de ser sintéticos, para cada estudiante presentamos los procedimientos de construcción propuestos en cada software, acompañados de los análisis relativos a los esquemas de utilización, considerando los indicadores de la Tabla 1; tales indicadores se identifican con los códigos de la Tabla seguidos de G3D o NT dependiendo del software. Entrelazado con estos análisis, mostramos significados de los objetos involucrados, emergentes de los esquemas de los estudiantes.

La producción de la estudiante S

La estudiante S trabajó de una manera bastante autónoma; no pidió al profesor alguna orientación para abordar la tarea. Primero trabajó en G3D, luego en NT como fue la instrucción. La Tabla 2 sintetiza los procedimientos llevados a cabo por S en cada uno de los softwares.

Tabla 2*Procedimientos de construcción de S*

Procedimiento en G3D	Procedimiento en NT
(i) Puso cuatro puntos A, B, C y D en el plano de referencia; (ii) “sacó” del plano, mediante arrastre, dos de tales puntos (C y D); (iii) construyó los $\overline{AB}$, $\overline{BC}$, $\overline{CD}$ y $\overline{DA}$; (iv) mediante arrastre de C , ajustó para que el $\angle ABC$ sea recto.	(i) Puso cuatro puntos en el entorno del software; (ii) construyó 4 segmentos cuyos extremos son dichos puntos; (iii) mediante arrastre de uno de tales puntos, ajustó para que uno de sus ángulos se viera recto (Figura 1).

Figura 1*Representación gráfica asociada al procedimiento de S en NeoTrie*

Ambos procedimientos tienen similitudes; en ellos, se puede reconocer el mismo esquema para obtener un ángulo con una medida determinada: arrastrar un cierto punto hasta lograr la medida deseada [actúa según E2, pues esa acción es heredada del uso de GeoGebra 2D]. Sin embargo, se pueden identificar también esquemas sustancialmente diferentes para obtener los segmentos alabeados: en G3D, sacar del plano dos puntos mediante el arrastre [actúa según E1-G3D]. En NT, poner los cuatros puntos en el entorno sin necesidad de contar con un plano de referencia [actúa según E1-NT]. Cuando el profesor le indagó sobre por qué su diferente proceder en cada software, ella dijo:

En G3D, “construí cuatros puntos en el plano y saqué dos [del plano] para que queden en el espacio [...]. Así garantizo un cuadrilátero alabeado. Los puntos están en el espacio porque están fuera del plano [...]. Aquí [en el entorno NT] todo lo que se construye ya está en el espacio. Es que los puntos están como flotando. Ya están en el espacio”.

La respuesta de S ratifica que los esquemas que ella desplegó en cada software difieren producto de las características propias de estos. Dado que el entorno G3D tiene un plano de referencia por defecto, su manera para garantizar la alabeidad consiste en poner un segmento en ese plano y otro fuera de él; en tanto que, en NT, la manera para garantizarla se basa en su sensación de estar dentro del espacio tridimensional (rasgo de presencia de la RVI) y de ver los puntos “flotando” desde diversas perspectivas (rasgo de agencia de la RVI), sin necesidad de acudir a un plano de referencia. Lo anterior muestra que, para S, la noción de segmentos alabeados tiene que ver con algo del espacio tridimensional; no obstante, las características de los softwares influyen en la manera como ella concreta ese significado: en G3D, porque uno de ellos está en un plano de referencia mientras que el otro no –según ella, está en el espacio–; en NT, porque “percibe” que los puntos ya están en el espacio mismo. Dicho esto, es posible decir que el significado de espacio para S también difiere dependiendo del software que ella emplee: en G3D, el espacio se caracteriza por aquello que no está en un plano de referencia; en NT, parece ser que esa condición no es necesaria. De alguna manera, la sensación de inmersión de NT es tal real, que el espacio es lo que ella percibe que la rodea.

La producción del estudiante R

Tal como fue indicado en las instrucciones de la tarea, R primero trabajó en G3D y logró un procedimiento sin mayor dificultad. Luego, quiso hacer lo propio en NT; el profesor, al ver su actuar, vio la necesidad de intervenir y de orientar sus intenciones. Dado este escenario, no consideramos pertinente exponer en una tabla, paralelamente, los procedimientos de R. Para facilitar la lectura, preferimos relatar y analizar lo ocurrido en G3D, para luego concentrarnos en lo acontecido para NT.

El procedimiento de R al trabajar en G3D fue el siguiente: (i) Puso cuatro puntos A , B , C y E en el plano de referencia; (ii) “sacó” el punto E del plano, mediante arrastre; (iii) construyó un plano con los puntos B , C y E ; (iv) en este plano, construyó una recta m perpendicular a $\overline{BC}$ por C ; (v) construyó D en m diferente de C ; y (vi) construyó $\overline{AB}$, $\overline{BC}$, $\overline{CD}$ y $\overline{DA}$.

Con el paso (ii) del procedimiento, hay evidencia para indicar que R efectuó una acción en G3D análoga a la de S, hecho que indica un esquema con rasgos sociales al ser común entre varios (Rabardel, 1995). Si bien el esquema es el mismo para S y R en el sentido de “sacar” puntos del plano

para aludir al espacio, la acción de R tiene un matiz pues solo saca un punto (no dos como lo hace S); de alguna manera, R despliega un nuevo esquema para obtener alabeidad (actúa según E1-G3D).

Con el propósito de recabar más información sobre el efecto de esta acción en términos de la tarea solicitada, el profesor le preguntó sobre cómo garantizaría él que el cuadrilátero construido, en efecto, era alabeado; R respondió:

Porque puse a [al punto] *E* en el espacio con el arrastre hacia arriba [arrastre vertical] [...] los otros [tres puntos] están en el plano. Es que así garantizo que los puntos no son coplanares.

Esta respuesta evidencia que su esquema en G3D está en consonancia con su significado de segmentos alabeados, el cual está próximo a la definición institucional deseable para la clase: dos segmentos son alabeados si sus extremos son no coplanares; para ello, según él, basta que uno de los puntos esté en el espacio, es decir, no pertenezca al plano determinado por los otros tres puntos.

Dado que similar a lo que sucede con S, R alude a un punto en el espacio cuando indica que este no está en el plano, fue natural preguntarle si sólo ese punto *E* estaría en el espacio; así se podría recabar su significado sobre esta noción. Su respuesta fue:

[5 segundo de silencio, mientras observa la pantalla] No... mmm... Todo está en el espacio... *E* está fuera del plano en donde esta los otros [puntos], pero todo está en el espacio.

Con la respuesta, el significado de espacio para R se condice con caracterizaciones teóricas esperadas: se caracteriza por la existencia de cuatro puntos no coplanares y porque contiene planos y puntos; sus acciones en G3D se corresponden suficientemente con ese significado.

Ahora, presentamos el proceder de R en NT. En un primer momento, intentó replicar el procedimiento desplegado en G3D [actuó según E4-NT]. Realizó acciones corporales como agacharse, pararse, caminar dando vueltas alrededor de algo, etc. El profesor (Prof.), al ver esto, le indagó sobre su actuar:

R: Ah, es que estaba mirando si hay un plano que me sirva [...] Para poner tres puntos ahí y luego un punto afuera [fuera de ese plano].

Prof.: Mirando en dónde...

R: Acá [en el entorno del software] [...]. Yo veo una mesa [aquella en donde están las herramientas de NT], me acerco [a ella], pero no pude ponerlos ahí bien... se ven huecos [no puestos perfectamente sobre la superficie de la mesa] [...] veo un piso, pero yo [su avatar] siempre estoy como volando por todos lados [risas] [...] pensaba que mi piso podría ser... pero no.

Prof.: ¿A qué piso te refieres?

R: Al que estoy pisando [risas] acá en el salón [de clases]. Pero ese no está acá [en el entorno NT] [...] Entonces, puse los cuatros puntos a diferentes alturas y lejos o cerca...

Prof.: Cómo así...

R: Con respecto a mis ojos... a mi piso... no sé [risas]... que se vean no coplanarios, como en distinta posición... unos más arriba, otros más cercanos a mí... que no se vean coplanares. [Luego de aproximadamente 30 segundos] Profe, ¿cómo construyo acá un plano y perpendiculares?

Ante la pregunta de la última intervención de R, se le indicaron las herramientas. Intentó replicar el procedimiento asociado a G3D con esas herramientas [de nuevo, actuó según E4-NT], pero no tuvo éxito por cuanto se le dificultó construir un plano primero; usó, entonces, la herramienta de perpendicularidad para la cual, si no se tiene un plano construido en el entorno de NT, funciona de manera diferente a la usada por R en G3D (Figura 2): se deben seleccionar 3 puntos no colineales (rojos) y, dependiendo del orden en el que se seleccionen los puntos, aparece un cuarto punto verde

en alguno de los semiespacios determinados por el plano (no observable) que contiene a esos puntos rojos; el punto verde y el segundo punto seleccionado determinan una recta perpendicular a ese plano, específicamente, a las dos rectas determinadas por dicho segundo punto y los dos puntos rojos restantes (rectas no observables). R se dio cuenta de ello y actuó así para construir los vértices del cuadrilátero deseado. Con esto, genera una suerte de ajuste al esquema de G3D [actuó según E3-NT].

Figura 2

Representación gráfica asociada al procedimiento de R en NeoTrie



Con el proceder de R, podemos que, aunque él intentó rutinizar un esquema asociado a G3D [actuó según E4-NT], el entorno NT no se lo permitió. Esto, por cuanto no hubo un plano base de referencia para desplegarlo. Ahora bien, pese a que NT fue un obstáculo para que R rutinizara un esquema, el software le permitió vivir una experiencia de inmersión muy rica evidenciada al inicio del diálogo entre él y el profesor. No cabe duda de que el entorno le generó una percepción de tridimensionalidad indicada por su sensación de estar “volando por todos lados” (rasgo de presencia de la RVI). Así mismo, le permitió experimentar un contraste de realidades, entre la física material y la virtual del NT, indicado por esa sensación de estar volando (virtualmente) versus la real física de estar pisando el suelo del salón. Ese contraste (que yace por el uso de NT) influye en sus acciones y decisiones; por ejemplo, buscó un plano en el entorno virtual, asociado al piso que siente de manera material; al no encontrarlo, decidió hacer los puntos (indicador de agencia de la RVI) atendiendo a elementos perceptivos (similar al actuar de S) que son inducidos por la tridimensionalidad del entorno (dice él: puntos en distinta posición... unos más arriba) o por el lugar del cuerpo en dicho entorno (dice él: puntos más lejanos o cercanos a mí). Ese contraste, le hizo poner sobre la balanza dos tipos de significados relativos a alabeidad y espacio: uno de tipo teórico esperado, basado en el esquema asociado a G3D que intentó replicar, y otro mucho más perceptivo, sugerido por los rasgos de agencia y presencia de NT. La balanza se terminó inclinado hacia el teórico, pues R finalmente pidió orientación sobre el uso de las herramientas plano y perpendicularidad; usó esta última, la cual, implícitamente, alude a un plano y a un punto fuera de él con las características dichas previamente.

BREVE DISCUSIÓN

Estudios sobre NT han mostrado que su uso favorece el desarrollo de habilidades visoespaciales o argumentativas, produce una mayor motivación para abordar tareas matemáticas (e. g., Cangas-Moldes et al., 2019; Codina-Sánchez et al., 2022; Rodríguez, 2024) y promueve una mejor comprensión de objetos de la geometría tridimensional, en comparación con recursos manipulativos (García y Romero, 2024). Sin embargo, no explicitan diferencias de usos entre NT con otros softwares de geometría dinámica como G3D. Nuestro reporte quiso abordar este asunto, no con el sentido de exaltar uno en detrimento del otro; sí con el propósito de determinar cómo difieren los esquemas de utilización desplegados en cada software para resolver una tarea de construcción y cómo los rasgos de inmersión de NT (agencia y presencia) tienen un efecto en la explicitación o construcción de significados. Concebimos que estudios como estos ponen sobre la mesa información valiosa que un futuro profesor o profesor en ejercicio puede utilizar al momento de tomar la decisión de implementar tales recursos en el aula. Como dice Artigue (2011), hacer estudios con este énfasis pone un acento en los efectos epistémicos de un recurso (construir conocimiento, inducir o hacer ostensivos significados, plantear necesidades teóricas) que va más allá de su importante valor técnico (sus posibilidades y potencialidades para hacer las cosas muy bien). Siguiendo esta idea, a partir de la

descripción de esquemas de utilización, en este estudio ilustramos cómo el uso de NT implicó acciones y efectos epistémicos diferentes en S y R. Por ejemplo, S no intentó desplegar en NT un esquema que le permitirá garantizar alabeidad teóricamente, como sí lo hizo en G3D al intentar sacar puntos de un plano de referencia; sus acciones en NT estuvieron fuertemente influenciadas por las condiciones de agencia y presencia del software (sentirse en un entorno en el que todo lo percibe en un espacio tridimensional), hecho que no le permitió ganar conciencia de la necesidad teórica que implicaba considerar un plano para garantizar la construcción de los objetos deseados. En consecuencia, sus significados de alabeidad y espacio se manifestaron de manera distinta en cada software; por ejemplo, al usar NT, el espacio fue para ella lo que la rodeaba, lo que percibía; pero al usar GeoGebra, el espacio fueron los puntos que no estaban en un plano. Por su parte, las acciones de R procuraron ser más consistentes en ambos softwares, al punto de querer replicar esquemas. Aunque los rasgos de inmersión de NT hicieron que, por un momento, él fuera persuadido por el entorno perceptivo del software, una necesidad teórica emergió para hacer que una herramienta de NT se adaptara a sus necesidades, lo que le llevó a ajustar el esquema empleado en G3D. Sus significados de espacio y alabeidad no se modificaron de un software a otro, pero NT sí puso a prueba su necesidad teórica versus lo perceptible.

COMENTARIO FINAL

El estudio muestra evidencia de que los rasgos de inmersión de agencia y presencia de NT pueden influir en los significados de ciertos objetos, al compararlos con aquellos que emergen si se emplea un recurso como G3D (caso de S). Asimismo, resalta cómo estos rasgos de inmersión pueden generar conflictos entre lo preceptivo y lo teórico institucional (caso de R).

Referencias

- Artigue, M. (2011). Tecnología y enseñanza de las matemáticas: desarrollo y aportes de la aproximación instrumental. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 6(8) 13–33.
- Cangas-Moldes, D., Morga, G. y Rodríguez, J.L., (2019). Geometry teaching experience in virtual reality with NeoTrie VR. *Psychology, Society y Education*, 11(3), 355–366. <https://ojs.ual.es/ojs/index.php/psye/article/view/2270>
- Codina-Sánchez, A., del Mar García López, M., Albaladejo, I. M. R. y Gómez, J. L. L. (2022). Poliedros con el software de realidad virtual inmersiva NeoTrie VR, una experiencia con maestros en formación. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 25, 1–14. <https://doi.org/10.6018/reifop.531841>
- García, M. M. y Romero, I. M. (2024). Relación entre superficie y volumen mediante manipulativos y realidad virtual. En N. Adamuz-Povedano, E. Fernández-Ahumada, N. Climent y C. Jiménez-Gestal (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXVII* (pp. 257-264). SEIEM. https://www.seiem.es/wp-content/uploads/2025/04/Comunicacion_21.pdf
- Makransky, G. y Petersen, G.B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- Pellas, N., Mystakidis, S. y Kazanidis, I. (2021). Immersive Virtual Reality in K-12 and Higher Education: A systematic review of the last decade scientific literature. *Virtual Reality*, 25, 835–861. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00489-9>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Une approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Rodríguez, J. L. (2024). Virtual reality in the classroom: a difficult but exciting adventure for teachers and students. *Frontiers in Education*, 9, 1294715. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1294715>
- Sua, C., Gutiérrez, A. y Jaime, A. (2023). From 2D to 3D: support of a 3-dimensional dynamic geometry environment in learning proof. En M. Ayalon, B. Koichu, R. Leikin, L. Rubel y M. Tabach (Eds.), *Proceedings of the 46th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 4, pp. 243-250). PME 46.