

Realidades digitales en la didáctica de la representación arquitectónica

Paula Andrea Escandón-Suárez* 

Andrés Felipe Roldán-García** 

Widman Said Valbuena-Buitrago*** 

Fecha de recepción: 27 de agosto de 2024

Fecha de aprobación: 17 de noviembre de 2024

Para citar este artículo

Escandón-Suárez, P. A., Roldán-García, A. F. y Valbuena-Buitrago, W. S. (2024). Realidades digitales en la didáctica de la representación arquitectónica, *(Pensamiento), (Palabra)... Y Obra*, (32), e22081.

<https://doi.org/10.17227/ppo.num32-22081>

* PhD en Diseño y Creación. Universidad Nacional de Colombia. paescandon@unal.edu.co

** PhD en Diseño y Creación. Universidad Nacional de Colombia. anroldang@unal.edu.co

*** PhD en Diseño y Creación. Oka Consultores. okaconsultores@gmail.com

Resumen

En los últimos años, las realidades digitales han cobrado mayor relevancia por su potencial para generar experiencias de aprendizaje inmersivas e interactivas. En la representación arquitectónica, estas tecnologías permiten crear construcciones virtuales en escala real, superponer información de objetos en el mundo físico y mejorar la comprensión de la espacialidad tridimensional. Este trabajo muestra el proceso de apropiación tecnológica y conceptual de estudiantes de arquitectura que utilizaron herramientas de realidad virtual, aumentada y renderizado 360° en los cursos de imagen digital y 3D y 4D, apoyados por el Laboratorio de Imagen y Modelado y Aula Stem de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, durante el año 2023. Se analizaron ejercicios de los estudiantes, considerando conceptualización, modelado, renderizado e interacción. Se aplicó una co-ocurrencia de criterios de aprendizaje y evaluación con las técnicas aplicadas como estrategia didáctica, encontrando que el uso de herramientas digitales prevaleció en modelado, renderizado e interacción, mientras que para la conceptualización se usó más las herramientas analógicas que en complemento con técnicas de representación digital, estimulan la creatividad, el uso de conceptos de arte contemporáneo y comunicación. Las realidades digitales mejoraron la comprensión tridimensional y el uso de programas específicos para arquitectura, desarrollando competencias para la representación de proyectos detallados en espacios virtuales inmersivos.

Palabras clave: aprendizaje visual; arquitectura; prácticas educativas; usos de la tecnología en la educación

Digital Realities in the Didactics of Architectural Representation

Abstract

In recent years, digital realities have gained greater prominence due to their potential to generate immersive and interactive learning experiences. In architectural representation, these technologies enable the creation of full-scale virtual constructions, the overlay of object information onto the physical world, and the enhancement of understanding three-dimensional spatiality. This study examines the technological and conceptual adoption process of architecture students who used virtual reality, augmented reality, and 360° rendering tools in digital imaging and 3D and 4D courses, supported by the Imaging and Modelling Laboratory and the STEM Classroom at the National University of Colombia - Manizales Campus during 2023. Student exercises were analysed, considering conceptualisation, modelling, rendering, and interaction. A co-occurrence of learning and evaluation criteria was applied alongside the techniques employed as a didactic strategy. It was found that digital tools dominated in modelling, rendering, and interaction, while conceptualisation relied more on analogue tools, which, when complemented by digital representation techniques, foster creativity, the application of contemporary art concepts, and communication. Digital realities enhanced three-dimensional understanding and the use of specific architectural software, developing competencies for the representation of detailed projects within immersive virtual spaces.

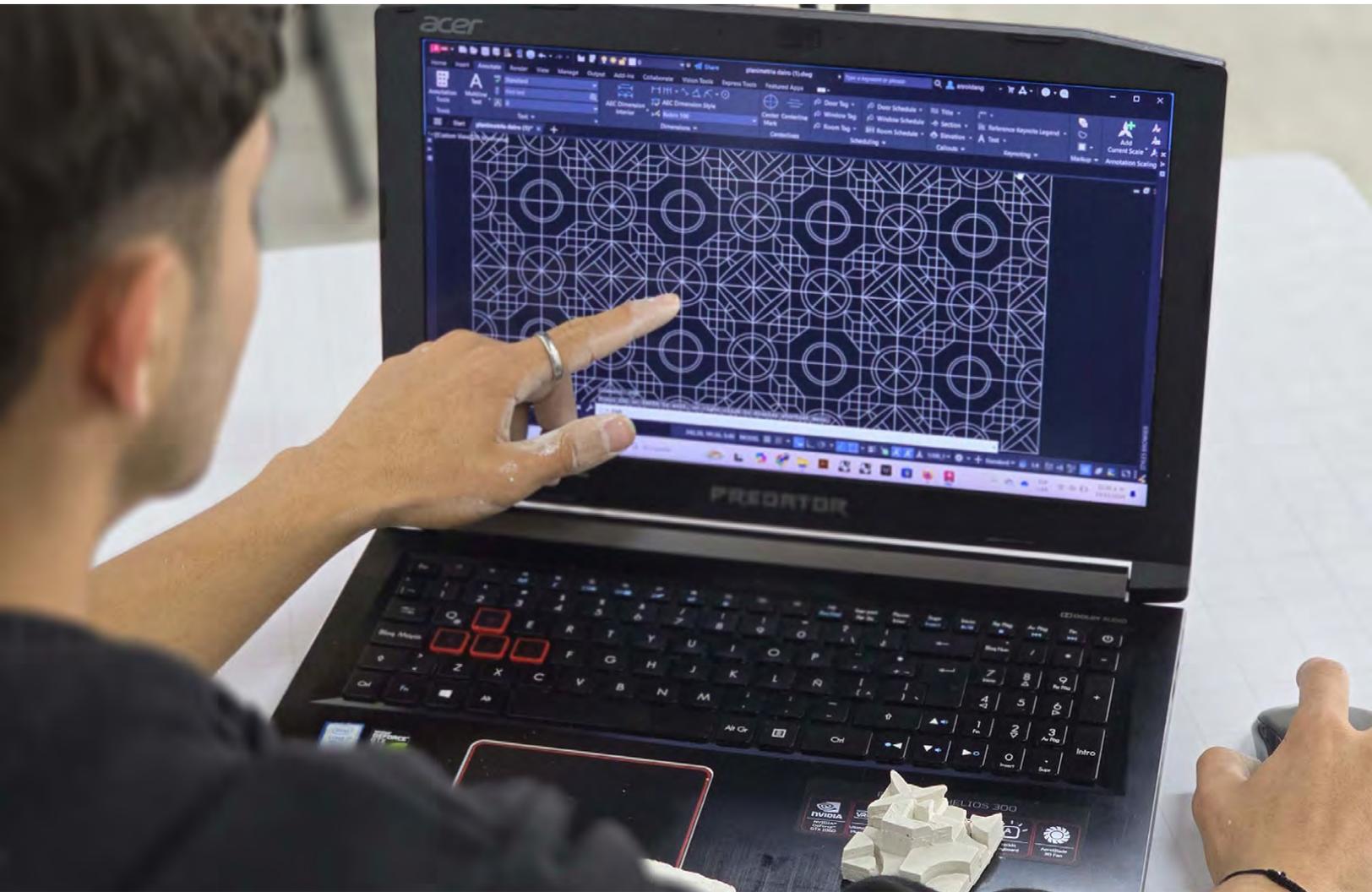
Keywords: visual learning; architecture; educational practices; technology uses in education

Realidades digitais na didática da representação arquitetônica

Resumo

Nos últimos anos, as realidades digitais ganharam maior relevância por seu potencial de gerar experiências de aprendizado imersivas e interativas. Na representação arquitetônica, essas tecnologias permitem criar construções virtuais em escala real, sobrepor informações de objetos no mundo físico e melhorar a compreensão da espacialidade tridimensional. Este trabalho apresenta o processo de apropriação tecnológica e conceitual de estudantes de arquitetura que utilizaram ferramentas de realidade virtual, aumentada e renderização 360° nos cursos de imagem digital e 3D e 4D, apoiados pelo Laboratório de Imagem e Modelagem e pela Sala STEM da Universidade Nacional da Colômbia - Campus Manizales, durante o ano de 2023. Foram analisados exercícios dos estudantes, considerando conceitualização, modelagem, renderização e interação. Foi aplicada uma coocorrência de critérios de aprendizagem e avaliação com as técnicas utilizadas como estratégia didática, constatando-se que o uso de ferramentas digitais predominou na modelagem, renderização e interação, enquanto para a conceitualização utilizou-se mais ferramentas analógicas, que, em complemento com técnicas de representação digital, estimulam a criatividade, o uso de conceitos de arte contemporânea e a comunicação. As realidades digitais aprimoraram a compreensão tridimensional e o uso de programas específicos para arquitetura, desenvolvendo competências para a representação de projetos detalhados em espaços virtuais imersivos.

Palavras-chave: aprendizado visual; arquitetura; práticas educacionais; usos da tecnologia na educação



Introducción

El término realidad digital abarca el uso de diversas tecnologías como realidad aumentada (RA), realidad virtual (RV), realidad mixta (RM) y fotografía 360°. Estas herramientas brindan la posibilidad de simular entornos físicos, crear nuevos ambientes o superponer elementos, permitiendo a los usuarios interactuar con diferentes elementos digitales (P. D. y Garia, 2021). Su aplicación se extiende a diversos campos como el entretenimiento, la salud, la fabricación industrial y la educación, ya que ofrecen formas alternativas de interactuar con datos e información, así como estructurar ambientes virtuales para el desarrollo de competencias en la formación de la arquitectura.

Las tecnologías de realidad virtual y aumentada se han integrado en los currículos educativos a nivel mundial, proporcionando una amplia gama de oportunidades de aprendizaje y enseñanza (Radianti *et al.*, 2020). Muchas instituciones educativas ofrecen cursos, programas de

grado completos y certificaciones en estas áreas. En los últimos años, las investigaciones no solo se centran en la tecnología, sino también en aspectos relacionados con la mejora de capacidades y la cognición social mediada por la inteligencia artificial, enfocada en potenciar habilidades y la interacción social (Baranyi *et al.*, 2021).

A través de dispositivos móviles como smartphones, tabletas o gafas de inmersión, estas tecnologías han demostrado su potencial en la educación, permitiendo a los estudiantes interactuar con información científica (Huang *et al.*, 2019), apoyar la educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés) (Ajit, 2021), y asistir a estudiantes con diferencias de aprendizaje (Anderson, 2019). Además, contribuyen a la democratización de la educación, permitiendo el entrenamiento profesional mediante simulaciones educativas en metaversos y el desarrollo de actividades lúdicas que apoyan el proceso de enseñanza-aprendizaje (Barragán-Perea, 2023).

El efecto inmersivo de las realidades digitales atrae la atención de los estudiantes, mejorando su retención y comprensión durante el proceso de aprendizaje (Cizmeci, 2021). Los entornos de estas experiencias pueden ser personalizados teniendo en cuenta las habilidades, intereses y estilos de aprendizaje de los estudiantes. En este sentido, se han realizado estudios con resultados positivos para comprender mejor las perspectivas, sentimientos, y actitudes de las personas sobre la adopción e integración de la realidad aumentada y la realidad virtual en la educación (Lampropoulos *et al.*, 2022).

En cuanto a la educación arquitectónica se ha reflexionado sobre las diferentes herramientas de representación siendo el dibujo a mano un medio indispensable para la exploración creativa y la resolución de problemas (Leandri *et al.*, 2022), y cómo en los planes de estudio se puede proyectar la formación en habilidades de representación hibridando técnicas digitales y analógicas (De Souza *et al.*, 2023). De otro lado, también se ha buscado desarrollar competencias específicas a través del dibujo digital, incorporando herramientas para el flujo de trabajo en momentos del proceso de diseño, buscando expandir el espectro de estas habilidades para la expresión y representación arquitectónica. Aun así todavía existe una brecha entre el conocimiento explícito tradicional y el conocimiento explícito que solo se puede adquirir mediante la exposición al proceso *in situ* y, por lo tanto, se precisa de un método de enseñanza más inmersivo acercando a los aprendices a las experiencias que se pueden vivir cuando las personas interactúan con los objetos o entornos arquitectónicos, lo que se podría con el uso de tecnologías digitales inmersivas (Hajirasouli y Banihashemi, 2022).

Algunos estudios muestran cómo se han realizado esfuerzos por utilizar ambientes de aprendizaje inmersivos para educación en arquitectura, ingeniería y construcción (AEC), para el diseño y la construcción de edificios ambientalmente sostenibles (Vassigh *et al.*, 2020), y para combinar realidad aumentada con BIM (*building information modeling*) enfocado a mejorar la capacidad de los estudiantes para reconocer una variedad de principios de construcción (Ghanem, 2022). Estas cualidades de las realidades digitales han permitido que se utilicen además en estrategias didácticas de visualización para estimular el aprendizaje relacionado con el patrimonio cultural y la historia de la arquitectura (Puggioni *et al.*, 2021).

De igual manera, el pensamiento espacial es una habilidad propia en el ejercicio profesional de arquitectos e ingenieros, que impacta directamente en su desempeño en diversas tareas como diseñar edificios e interpretar dibujos técnicos (Türkmenoglu Berkan *et al.*, 2020), relacionándose también con los procesos cognitivos necesarios para entender la posición, la rotación de objetos, y cómo estos se relacionan entre sí en el espacio. Estas habilidades pueden desafiar a los estudiantes de arquitectura, sobre todo cuando se requiere visualizaciones espaciales complejas o la manipulación espacial (Sutton y Williams, 2011). Es así como parte de estas competencias se buscan desarrollar en cursos de representación, los cuales se orientan al despliegue de habilidades comunicativas y proyectuales a través de múltiples medios analógicos y digitales (Roldán y Escandón, 2022).

Teniendo en cuenta la importancia en la formación en el pensamiento espacial, algunas investigaciones se han enfocado en generar espacios arquitectónicos virtuales inmersivos para mejorar habilidades espaciales, como la orientación, la rotación y la visualización (Ghanem, 2022), mejorar percepción espacial a través de modelos virtuales (Paes *et al.*, 2017), o la proyección espacial y percepción visual en cursos de geometría descriptiva (González, 2018).

En este contexto se hace necesario seguir indagando sobre el impacto en el aprendizaje y el uso de estas tecnologías en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Estas herramientas digitales se utilizan predominantemente durante las etapas de modelado y renderizado, debido a la complejidad y la precisión técnica necesarias para gestionar detalles complejos y proporcionar simulaciones precisas como propiedades físicas y simulaciones virtuales (Joklova y Budreyko, 2019). También es importante indagar cómo repercute en el aprendizaje la combinación de las realidades digitales, como la realidad aumentada, la realidad virtual o renderizado 360°, con otras técnicas tradicionales de representación analógica como el dibujo a mano o el maquetado a escala. De igual manera, observar hasta dónde estas tecnologías digitales propician el desarrollo de habilidades de representación y comunicación cuando se utilizan en la didáctica de la representación arquitectónica. En este sentido, surge la pregunta ¿cuál es el impacto que tiene la introducción de la producción de realidades digitales inmersivas en el desarrollo de habilidades para la arquitectura en las asignaturas de expresión e imagen y 3D y 4D?

Metodología

Este estudio es una aproximación cualitativa con enfoque fenomenológico que busca entender cómo la introducción de herramientas digitales inmersivas en las experiencias de aprendizaje de los estudiantes de arquitectura influye en el desarrollo de sus habilidades para la representación (Roldán y Escandón, 2022). El proceso de investigación oscila entre la observación participante y la participación observante que los docentes a cargo despliegan durante el fenómeno educativo intervenido (Guber, 2019; Páramo, 2018).

El estudio de caso se realizó con estudiantes de tercer y cuarto año de arquitectura de las asignaturas de expresión e imagen y 3D y 4D durante el año 2023, con el apoyo del Laboratorio de Imagen y Modelado y el Aula STEAM de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Objeto de estudio y unidad de análisis. Los cursos de expresión e imagen, así como el curso de 3D y 4D, son asignaturas optativas que se ofertan para el programa de Arquitectura, lo cual supone algunos presaberes relacionados con la representación y comunicación técnica de proyectos, el lenguaje gráfico y la comprensión espacial. Los objetivos de aprendizaje relacionados con la representación arquitectónica constituyen el objeto y unidad de análisis de la presente investigación (tabla 1).

Tabla 1. *Objetos de aprendizaje*

Asignatura	Objetivos de aprendizaje
Expresión e imagen	<ul style="list-style-type: none"> Reconocer las principales técnicas de expresión, comunicación y arte contemporáneo y su aplicación en la arquitectura. Desarrollar habilidades en la expresión y aplicación de herramientas analógicas y digitales aplicadas en los procesos proyectuales y creativos.
3D y 4D	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecer la comprensión espacial mediante entornos virtuales que propendan por el dibujo, modelado y renderizado de imágenes fijas y en movimiento, desde el manejo de herramientas especializadas para la representación de proyecto.

Fuente: elaboración propia.

Expandiendo el análisis de los objetos de aprendizaje y los propósitos planteados en cada asignatura, así como lo propuesto por Roldán y Escandón (2022) respecto a las competencias en representación arquitectónica, se define una nueva unidad de análisis enfocada a criterios de aprendizaje y evaluación. Incluyendo los tipos de pensamiento según el nivel de experticia de los estudiantes y donde conceptos como las competencias, objetivos de aprendizaje y rúbricas de evaluación generales permanecen para cada asignatura. La segunda unidad se refiere a los criterios sobre técnicas aplicadas como estrategia didáctica, en los que se detallan las técnicas usadas, de naturaleza analógica o digital, y las realidades digitales trabajadas en los cursos como realidad aumentada, realidad virtual y renderizado 360° (tabla 2).

Tabla 2. Unidades de análisis

Grupos de códigos	Códigos	Descripción
1. Criterios de aprendizaje y evaluación		
Competencias a partir de modo de pensamiento	Configura el espacio en tres dimensiones	Simulación e inmersión. Pensamiento posconcreto (Roldán y Escandón, 2022)
	Desarrolla proyectos arquitectónicos en detalle	Simulación e inmersión. Pensamiento formal (Roldán y Escandón, 2022)
	Usa programas (<i>software</i>) Específicos de la arquitectura	Simulación e inmersión. Pensamiento concreto (Roldán y Escandón, 2022)
Objetivos de aprendizaje de asignaturas	Arte	Aplicación de elementos conceptuales de arte contemporáneo
	Comunicación	Capacidad de comunicar ideas a través de la simulación de espacios
	Comprensión espacial	Igual a competencia: configura espacio en tres dimensiones
Rúbricas de evaluación	Calidad del modelo	Calidad en cuanto a detalle de modelo, luces, texturizado y ambientación general
	Conceptualización	Desarrollo conceptual y narrativa
	Creatividad	Capacidad para generar diseños innovadores que sean originales. ¹
2. Criterios sobre técnicas aplicadas como estrategia didáctica		
Técnicas aplicadas	Herramientas digitales	Uso de herramientas de <i>hardware</i> y <i>software</i>
	Herramientas analógicas	Uso de herramientas tradicionales como papel y lápiz
Realidades digitales	Renderizado 360°	Aplicación de técnicas de renderizado 360°
	Realidad aumentada	Aplicación de técnicas de desarrollo y visualización en realidad aumentada.
	Realidad virtual	Aplicación de técnicas de desarrollo y visualización en realidad virtual.

Fuente: elaboración propia.

Lo que lleva a considerar como conjetura de trabajo que la introducción de tecnologías digitales inmersivas en la didáctica de la representación arquitectónica puede contribuir al desarrollo de habilidades en técnicas de expresión, comunicación y arte contemporáneo, expresión y aplicación mediante el uso de herramientas analógicas y digitales, y comprensión espacial mediante entornos virtuales.

¹ La creatividad se analiza desde el modelo sistémico de Csikszentmihalyi (1998, 2014). Según Quintana *et al.* (2017), Csikszentmihalyi (1998) plantea que la creatividad surge en un sistema compuesto por: a) un dominio simbólico, b) una comunidad de expertos que protege este dominio, y c) agentes creativos que transforman el dominio con sus aportes (2014). Csikszentmihalyi sostiene que “la creatividad no ocurre solo en la mente de las personas, sino en la interacción entre sus pensamientos y un contexto sociocultural” (1998, p. 41). La creatividad resulta de la interacción entre una cultura con reglas simbólicas, una persona que introduce novedades y un ámbito de expertos que reconocen y validan la innovación (1998, p. 21).

El desarrollo de habilidades para la representación arquitectónica no solo agrupa todos estos objetos de aprendizaje, sino también constituye en buena parte lo que Bruce Archer ha resaltado en el modelado como aquel lenguaje esencial de las disciplinas que componen el diverso y cada vez más amplio campo del diseño, permitiendo la representación, análisis, exploración y transmisión de ideas (Archer, 2005), lo que en consecuencia constituye a la representación arquitectónica como una expresión concreta del sistema de la creatividad en la arquitectura (Csikszentmihalyi, 1998, 2014).

Técnicas de recolección de información. Los avances y resultado final se documentaron a través del trabajo gráfico a mano alzada y modelos digitales elaborados por los estudiantes por medio de plataformas como Google Classroom y Miro, junto con el registro de notas de campo sobre la interacción con las herramientas y sus reacciones.

Para cada uno de los ejercicios se plantearon las siguientes etapas: la conceptualización enfocada en la ideación inicial, donde prevalecen las ideas creativas, los bocetos y las primeras iteraciones del diseño; el modelado y renderizado donde las ideas conceptuales se traducen en modelos digitales detallados creando imágenes y animaciones realistas a partir de los modelos 3D; y la interacción donde se crean experiencias inmersivas en las que los usuarios puedan explorar e interactuar con los espacios (Jerald, 2015) (figura 1).

Secuencias didácticas realidades digitales			
	Realidad Aumentada	Realidad Virtual	Renderizado 360
Conceptualización	Selección de espacio Dibujo a mano alzada	Dibujo y narrativa Story telling	Selección de concepto espacial
Modelado y renderizado	Modelado, ambientación en Blender	Modelado, ambientación en Blender	Modelado, ambientación en Rhinoceros
Interacción	Unity y Vuforia Visualización Celular	Unity Visualización Oculus Quest	Oculus Quest Momento360.com

Figura 1. Secuencias didácticas

Fuente: elaboración propia.

Para el procesamiento de los datos de campo se usó la codificación abierta y axial (Strauss y Corbin, 2002), con apoyo en el *software* de análisis cualitativo atlas ti. Usando las categorías de análisis (tabla 2), se procesaron los resultados de aprendizaje de 21 trabajos individuales de fotografía 360°, 13 trabajos en parejas de realidad aumentada y 13 trabajos en parejas de realidad virtual. Posteriormente, se analizó la coocurrencia entre los códigos con mayor y menor saturación para encontrar las dimensiones que explican cómo la introducción de

tecnologías digitales inmersivas en los procesos de aprendizaje contribuye al desarrollo de habilidades específicas para la representación en la arquitectura.

Resultados

Para cada uno de los ejercicios propuestos se siguió la secuencia didáctica planteada, comenzando con la conceptualización que en algunos casos requirió herramientas analógicas, las fases posteriores de modelado, renderizado e interacción se trabajaron con diferentes *software* y dispositivos móviles y de realidad virtual.

Realidad aumentada

Se dispuso una intervención espacial con realidad aumentada a partir de modelos escultóricos creados en Blender[®] con formas geométricas y/o paramétricas, como base conceptual se compartieron conceptos de arte contemporáneo y su influencia en la arquitectura. Los estudiantes trabajaron en parejas para seleccionar inicialmente el sitio de la intervención, para luego comenzar con la ideación que se materializó a través

de bocetos a mano sobre los conceptos que decidieron seleccionar.

Posterior a este momento se continúa con el modelado. Proceso que se realiza con el programa de libre acceso Blender[®], haciendo énfasis en la optimización del modelo para obtener un resultado de bajo poligonaje. Luego de tener el modelo se realiza el proceso de texturización, aplicando materiales con mapas UV e iluminación estática o dinámica según los requerimientos del modelo. Algunos de los estudiantes generaron animaciones que permitieran reproducirlas en realidad aumentada.

Es de resaltar que los estudiantes no manifestaron conocimientos previos de este programa, por lo que se realizó un acompañamiento de parte del aula STEAM en aspectos básicos de modelado, y texturización, con el fin de optimizar el modelo para visualización en dispositivos móviles. Finalmente, para generar la interacción, se trabajó con el Plug-in Vuforia[®] para Unity[®], buscando escalar y dar proporción al modelo, según el espacio seleccionado, para finalmente generar los marcadores y poder visualizar las esculturas en los espacios seleccionados (figura 2).



Figura 2. Proceso de conceptualización, modelado e interacción

Fuente: estudiantes: Angie T Basante-Julian Ma Gallego.

Realidad virtual

Aquí se plantea una temática relacionada con arquitectura liminal o espacio frontera, el cual se refiere a los espacios de transición y umbrales arquitectónicos que existen entre diferentes áreas o lugares. Estos espacios no solo tienen una función práctica como puntos de paso, sino que también tienen una carga simbólica y emocional (Dale y Burrell, 2003), por lo que se solicitó a los estudiantes

tener en cuenta estos aspectos al prefigurar la experiencia sensorial. Para adelantar el proceso de conceptualización se plantea realizar un *storyboard*, que permita entender y previsualizar el recorrido que las personas podrán experimentar (figura 3).

Siguiendo el proceso, los estudiantes modelan y texturizan mapas UV de los espacios en Blender[®] teniendo como restricción de diseño, generar pocos polígonos para facilitar

la exportación. Para la implementación en Unity⁷ se importa el modelo, asignando materiales, preparando la escena para montaje de iluminación y cámaras. Finalmente, el reto de diseño consiste en compilar y exportar el diseño a un modelo ejecutable y de visualización para Oculus Quest⁸.



Figura 3. Visualización del modelo en Realidad aumentada

Fuente: estudiantes: Dahianna Díaz- María F Gutiérrez.

Render 360°

Para el ejercicio de visualización en 360° se plantean propuestas arquitectónicas funcionales que permitan establecer elementos de uso, interacción, estructura y delimitación de un espacio interior. La visualización de estas imágenes expandidas se realiza mediante una experiencia inmersiva ayudada por un motor de renderizado o gafas de realidad virtual. En un primer momento, los estudiantes traducen una necesidad arquitectónica en una configuración espacial que se realiza en el entorno virtual del *software* especializado Rhinoceros⁹, usado para el modelado 3D, tomando decisiones desde las vistas ortogonales del proyecto. Definen la ubicación de los elementos de contexto, las dimensiones, cerramientos, elementos estructurales y referencias de figura humana a fin de determinar en un entorno virtual las relaciones existentes entre los componentes de la escena.

Continuando con el proceso, se definen aspectos relacionados con la materialidad de los componentes de la escena: apariencia de los materiales, texturas y bitmaps que hacen parte de la propuesta arquitectónica. De la misma forma, se determinan aspectos contextuales como iluminación, condiciones climáticas y ambientales, sin olvidar la inclusión de figuras de referencia humana que facilitan la relación dimensional de los elementos (figura 4).



Figura 4. Proceso de conceptualización, modelado e interacción

Fuente: estudiante: Camila Álvarez González.

El proceso continúa con la determinación de los aspectos fotográficos de la escena: campo de visión, ubicación espacial de la cámara, apertura, profundidad de campo, sensibilidad y exposición, entre otros. En esta actividad, los estudiantes logran incorporar elementos de la fotografía que realizan en su entorno físico a las configuraciones de la versión digital, donde logran un renderizado de calidad fotográfica en un formato equirectangular (2×1) que contiene los elementos con las deformaciones correspondientes a una perspectiva esférica.

Finalmente, para facilitar la visualización de dicho contenido en 360° y vivenciar la experiencia inmersiva, los estudiantes visualizan las imágenes mediante gafas de realidad virtual Oculus 2^o-Facebook^o. Estas imágenes fueron publicadas mediante la plataforma Momento360.com con el fin de facilitar el acceso a la imagen para los usuarios que no cuentan con elementos de inmersión especializados.

Para estas experiencias de aprendizaje, las rúbricas de evaluación se enfocan de forma general en evaluar las habilidades de conceptualización, creatividad y calidad del modelo.

Saturación y coocurrencia

El análisis de los ejercicios realizados por los estudiantes da cuenta de dos coocurrencias de códigos relacionadas con los criterios de aprendizaje y evaluación y las técnicas aplicadas como estrategia didáctica. En la figura 5 se puede observar cómo las herramientas digitales con respecto a las competencias, objetivos y rúbricas de evaluación concentran el mayor número de coocurrencias y saturación de la evidencia de la práctica educativa. Es así como la competencia respecto a la configuración del espacio en tres dimensiones presenta 43 coocurrencias, seguidas de la competencia: usa programas (*software*) específicos de la arquitectura con 41. Respecto a las herramientas analógicas, se puede evidenciar que tanto las rúbricas de evaluación relacionadas con la conceptualización y la creatividad, así como los objetivos de la asignatura relacionados con arte y comunicación se evidencian más desde estas teniendo la coocurrencia de arte 20 coincidencias y la de conceptualización 22.

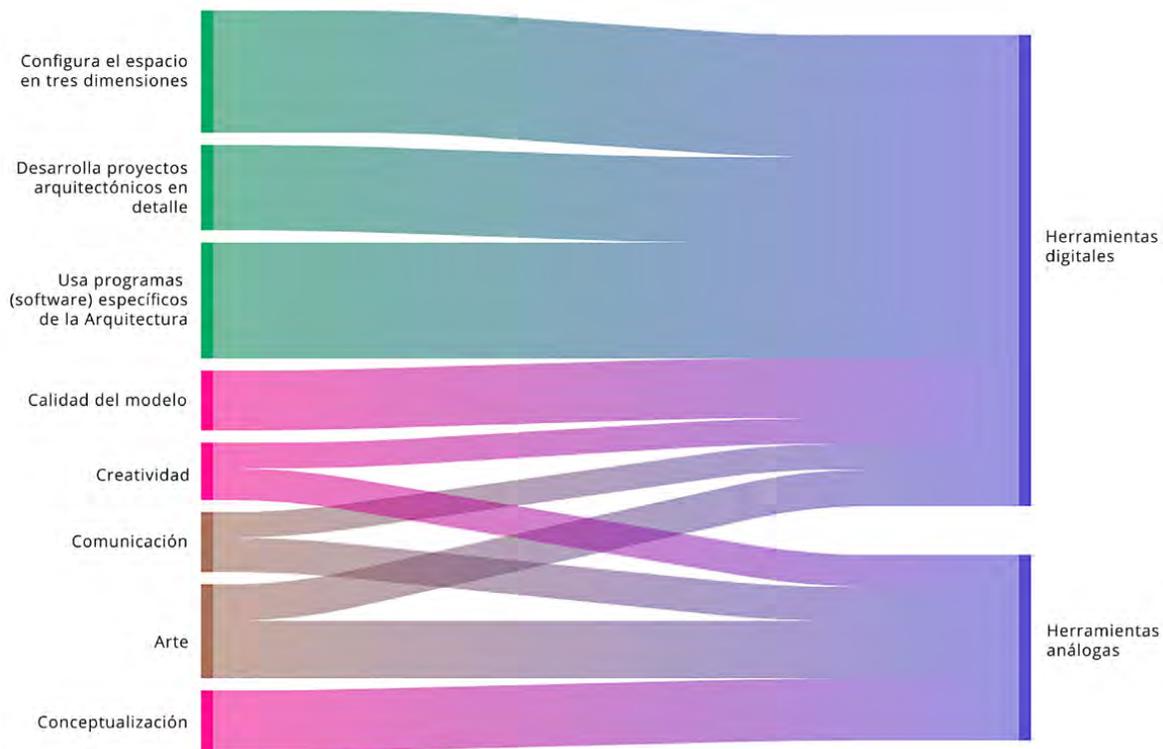


Figura 5. Coocurrencia de códigos diagrama Sankey, herramientas digitales y herramientas analógicas

Respecto a las realidades digitales (figura 6), se pudo observar como el renderizado 360° tuvo una mayor coocurrencia para las competencias relacionadas con configurar el espacio en tres dimensiones, usa programas (*software*) específicos de arquitectura y desarrolla proyectos arquitectónicos al detalle. En cuanto a los objetivos de aprendizaje relacionados con el arte y la comunicación, el ejercicio planteado en realidad aumentada generó 13 coocurrencias, de igual manera también generó el mismo valor para la competencia de configurar el espacio en tres dimensiones y usar programas (*software*) específicos de arquitectura. Para la realidad virtual, la mayor coocurrencia también se presentó para las competencias relacionadas con configurar el espacio en tres dimensiones, usa programas (*software*) específicos de arquitectura y desarrolla proyectos arquitectónicos al detalle.

Para las rúbricas de evaluación de calidad del modelo, la coocurrencia fue menor, ya que, desde la perspectiva del equipo de docentes del área, que para el caso configuran el componente del campo de expertos (Csikszentmihalyi, 2014; Quintana *et al.*, 2017), algunos trabajos no tuvieron el desempeño ideal en cuanto a calidad del modelo y texturización. Para la conceptualización solo se tuvo una coocurrencia, debido a que la mayoría de herramientas utilizadas en esta fase fueron analógicas y para la creatividad también se ve un comportamiento desigual en los ejercicios, ya que no todos se destacaron en cuanto a su relevancia, originalidad y atractivo visual.

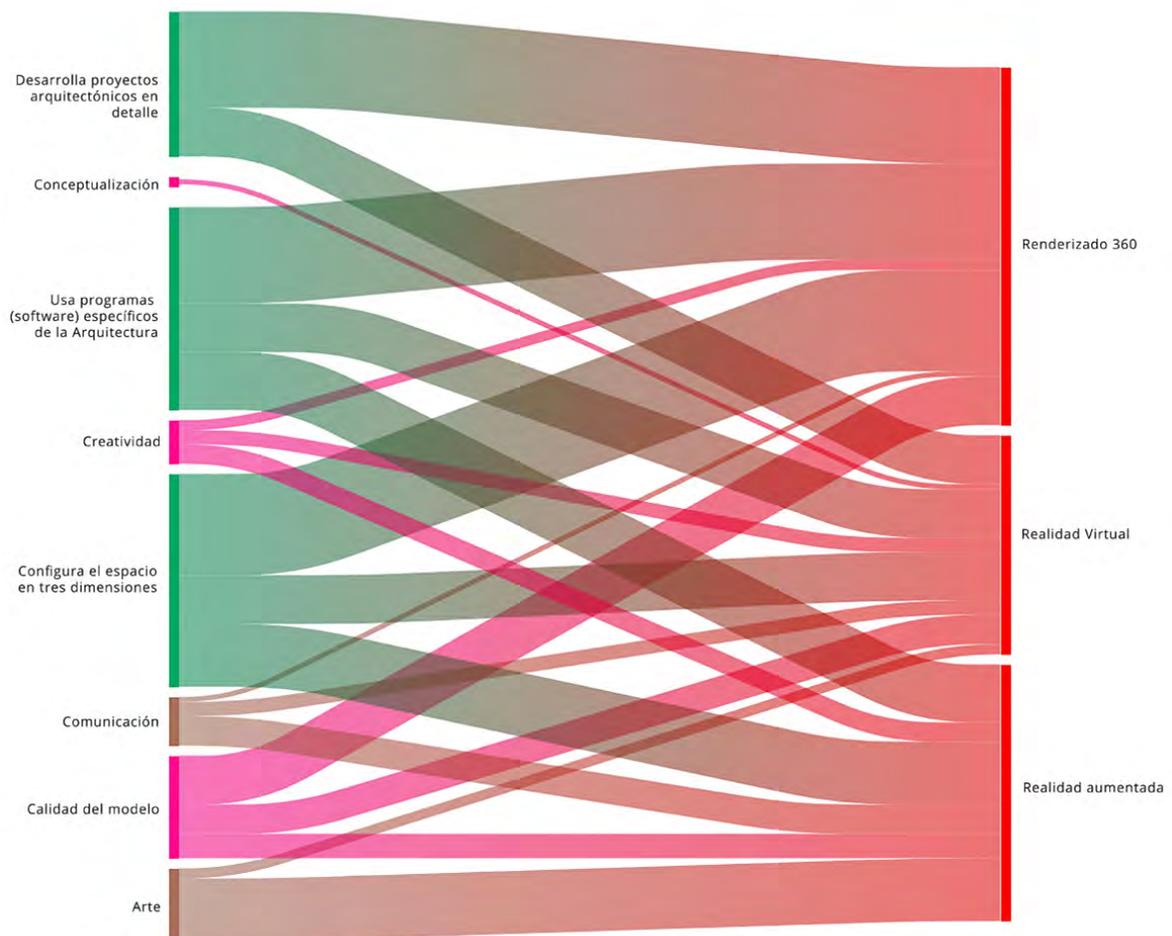


Figura 6. Coocurrencia de códigos, diagrama Sankey, realidades digitales



Conclusiones

En general, las herramientas digitales se utilizan en la arquitectura durante las etapas más avanzadas donde se requiere modelar, renderizar o desarrollar planos constructivos, debido al beneficio que estas presentan para gestionar detalles complejos, realizar simulaciones de propiedades físicas y factores naturales, técnicos, ecológicos, entre otros que son importantes para las etapas finales de evaluación y verificación de los proyectos. Sin embargo, durante la fase inicial de conceptualización, la atención se centra con frecuencia en la creatividad como pensamiento divergente y el pensamiento abstracto, que pueden no alinearse bien con la naturaleza estructurada y precisa de las herramientas digitales. En este sentido, como sugieren Leandri *et al.* (2022), la utilización de herramientas analógicas fomenta la capacidad reflexiva y creativa crítica que se traduce en una mejor resolución de problemas. Es así como el desarrollo de habilidades analógicas y digitales, más que rivalizar, se complementan en la formación de habilidades para la representación en los estudiantes, ya que estas se enfocan en diferentes fases del proceso proyectual.

Además, si bien las herramientas digitales se han investigado en etapas tempranas del proceso de diseño, su uso sigue siendo limitado debido a la escasez de análisis y a la necesidad de herramientas más intuitivas y menos exigentes desde el punto de vista de dominio técnico durante la fase conceptual (Abdalla *et al.*, 2021). Es así como las herramientas utilizadas en los ejercicios planteados en las asignaturas de *expresión e imagen* y *3D y 4D* requieren un conocimiento tecnológico y de representación alto, tanto para el uso de programas gratuitos como Blender⁷ o de pago como Rhinoceros⁸, por lo que se requirió acompañamiento especializado tanto de los docentes como de otros estudiantes con mayor experiencia en el uso de estos programas, aplicando de forma intuitiva en la experiencia educativa lo que en la pedagogía desde un enfoque constructivista del aprendizaje se conoce como zona de desarrollo próximo (ZDP) (Vygostky, 2009), donde el aprendiz desarrolla, desde su nivel de desarrollo potencial, el nivel de habilidad esperado en colaboración con un guía o par con mayor capacidad de desempeño. En este sentido, tanto para el reconocimiento de los espacios como para el planteamiento de ideas a través de bocetos y narrativas, se utilizaron herramientas analógicas como papel y lápiz; y para los procesos de representación usando

tecnologías digitales, además de técnicas y conceptos de arquitectura, se contó con la experticia de otras personas como recurso sociocultural para el aprendizaje.

La evidencia muestra que los ejercicios desarrollados en clase potencian el pensamiento concreto desde las relaciones existentes entre las exploraciones materiales y sus abstracciones gráficas, reconociendo en estos medios de representación un escenario para la toma de decisiones como habilidad concreta en el diseño arquitectónico. Es de anotar que, aunque no se midieron el nivel de aceptación de estas tecnologías en el momento de su uso, sí se pudo observar y registrar las expresiones de sorpresa y comentarios positivos con relación a la inmersión que genera la visualización a través de estos dispositivos, lo cual invita a indagar sobre las emociones y el impacto que estas provocan en el desarrollo de las habilidades para la arquitectura cuando se insertan experiencias inmersivas digitales en el aula.

El dibujo, los planos técnicos, modelos y maquetas, resultan dispositivos de naturaleza comunicativa del proyecto, en tanto aproximan a los resultados esperados en una posible ejecución, una dimensión anticipatoria y previsible de los componentes técnicos, así como medio natural para la expresión de las ideas, lo que permite involucrar a los estudiantes en un entorno simulado del quehacer arquitectónico, donde sus creaciones serán valoradas por otros pares configurando y alimentando el sistema creativo de la arquitectura (Csikszentmihalyi, 2014; Quintana *et al.*, 2017).

Tomando como base el avance de carrera y los cursos que fungen como prerrequisitos, es posible caracterizar los estudiantes que cursan dichas asignaturas. Entre los saberes esperados, se encuentran:

- La comprensión de la relación existente entre la representación bidimensional y la tridimensional.
- El reconocimiento de la materialidad propia de la arquitectura y sus dimensiones físicas, constructivas, simbólicas, prácticas y humanas.
- Un entendimiento básico de la espacialidad ligada al ejercicio proyectivo, como práctica configurativa que determina la forma de los objetos arquitectónicos, su uso e interacción.
- Un nivel de conciencia de la práctica profesional ligada a habilidades de expresión y representación que se enmarcan en el oficio del arquitecto.

Como germen para futuras investigaciones en el campo es imperativo explorar el impacto de la hibridación de los medios digitales y analógicos en las experiencias de aprendizaje del diseño participativo, considerando herramientas como ARKIO* que facilitan el diseño conceptual colaborativo en la formación de arquitectos y diseñadores (Chowdhury y Hanegraaf, 2022). Nuestros resultados subrayan la necesidad de fortalecer las competencias comunicativas y creativas mediante tecnologías digitales inmersivas, aprovechando su potencial para estimular el pensamiento reflexivo (Huerta y González, 2022). Encontramos que es fundamental mantener un equilibrio entre el uso de las tecnologías de representación digitales y analógicas en los ambientes de aprendizaje, considerando el componente cultural en el desarrollo de sistemas creativos para la enseñanza arquitectónica (Csikszentmihalyi, 2014; Huerta y Suárez-Guerrero, 2022).

Como propuesta evaluativa, se sugiere adaptar el modelo sistémico de Csikszentmihalyi (2014), que integra tres elementos: el sistema cultural (contenidos educativos), el sistema social (comunidad académica y de formación) y los agentes creativos (estudiantes y docentes), donde el campo actúa como validador de las propuestas creativas.

Este sistema evaluativo propuesto se fundamenta en la transición de experiencias de enseñanza hacia modelos de codiseño en la formación de nuevos diseñadores, como lo han sugerido otros estudios (Quintana *et al.*, 2017), donde los roles tradicionales de enseñanza, aprendizaje y evaluación se transforman y conmutan. En este contexto, tanto docentes como estudiantes y usuarios potenciales conforman el sistema social, aportando sus experiencias vitales como colaboradores activos en el proceso de diseño (Sanders y Stappers, 2014). Esta aproximación permite evolucionar desde una evaluación sumativa tradicional hacia una evaluación auténtica y situada, inherente a cualquier proceso creativo desde un enfoque sociocultural.

Siguiendo la perspectiva de Csikszentmihalyi (2014), quien reformuló la interrogante sobre la creatividad de “¿qué es?” a “¿dónde está?”, resulta pertinente y desafiante para próximas investigaciones trasladar esta reflexión al contexto específico de la enseñanza arquitectónica para examinar la ubicuidad de la creatividad en las prácticas pedagógicas del diseño en contextos de aprendizaje caracterizados por la hibridación generativa entre técnicas analógicas y digitales para la representación arquitectónica, con miras a incorporar en los ambientes de aprendizaje de la

arquitectura la evaluación participativa como una práctica educativa que busca el desarrollo de la creatividad.

Las limitaciones del estudio se relacionan con posibles sesgos en la observación participante, lo que puede influir en la interpretación de los datos y en evaluaciones subjetivas pese a la experiencia de los docentes. Se aclara que el registro y análisis de estas experiencias educativas busca evaluar el estado actual de las asignaturas, con el fin de procurar transformaciones en las prácticas educativas y como consecuencia, la diversificación y actualización de los contenidos y planes de estudio. Esto permitirá la experimentación de otras herramientas tecnológicas sin dejar de lado la representación analógica, buscando una hibridación de medios que permitan a los estudiantes lograr los objetivos formativos para su desarrollo profesional.

Referencias

- Abdalla, S., Rashid, M. y Ara, D. (2021). Plausibility of CAAD in Conceptual Design: Challenges in Architectural Engineering for Early-Stage Digital Design Tools. *Journal of Architectural Engineering*, 27(2), 04021004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000457](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000457)
- Ajit, G. (2021). A Systematic Review of Augmented Reality in STEM Education. *Estudios de Economía Aplicada*, 39(1), 4. <https://doi.org/10.25115/eea.v39i1.4280>
- Anderson, A. (2019). *Virtual Reality, Augmented Reality and Artificial Intelligence in Special Education: A Practical Guide to Supporting Students with Learning Differences*. Routledge.
- Archer, B. (2005). The Three Rs. En *A Framework for Design and Design Education: A Reader Containing Key Papers from the 1970s and 80s*. DATA. <https://books.google.com.co/books?id=ySu6zQEACAAJ>
- Baranyi, P., Csapo, A., Budai, T., y Wersényi, G. (2021). Introducing the concept of internet of digital reality-part i. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18(7), 225-240.
- Barragán-Perea, E. A. (2023). El metaverso y su aplicación en la democratización de la educación. *Revista Estudios de la Información*, 1(1) 90-101. <https://doi.org/10.54167/rei.v1i1.1214>
- Chowdhury, S. y Hanegraaf, J. (2022). Co-Presence in remote vr Co-design: Using remote virtual collaborative tool arkio in campus design. 2, 465-474. <https://www.semanticscholar.org/paper/CO-PRESENCE-IN-REMOTE-VR-CO-DESIGN-Using-Remote-in-Chowdhury-Hanegraaf/e62dbb2bdb6bedd26edb170b0cb496eeaffb47c4>
- Cizmeci, D. (2021). *Virtual Reality in Education: Can vr Change How We Learn and Teach? Daglar Cizmeci*. <https://daglar-cizmeci.com/virtual-reality-in-education/>
- Csikszentmihalyi, M. (1998). *Creatividad: el flujo y la psicología del descubrimiento y la invención*. Paidós Transiciones.



- Csikszentmihalyi, M. (2014). *Flow and the Foundations of Positive Psychology. The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9088-8>
- Dale, K. y Burrell, G. (2003). An-aesthetics and architecture. En Carr, A., Hancock, P. (eds) *Art and aesthetics at work* (pp. 155-173). Springer.
- Ghanem, S. (2022). Implementing virtual reality—Building information modeling in the construction management curriculum. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 27(3), 48-69. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.003>
- González, N. (2018). Development of spatial skills with virtual reality and augmented reality. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (ijidem)*, 12(1), 133-144. <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0388-x>
- Guber, R. (2019). *La etnografía: método, campo y reflexividad*. Siglo XXI Editores.
- Hajirasouli, A. y Banihashemi, S. (2022). Augmented reality in architecture and construction education: State of the field and opportunities. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00343-9>
- Huang, K.-T., Ball, C., Francis, J., Ratan, R., Boumis, J. y Fordham, J. (2019). Augmented Versus Virtual Reality in Education: An Exploratory Study Examining Science Knowledge Retention When Using Augmented Reality/Virtual Reality Mobile Applications. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(2), 105-110. <https://doi.org/10.1089/cyber.2018.0150>
- Huerta, R., y González, M. (2022). Museari como recurso digital para activar el pensamiento reflexivo en estudiantado universitario. *Communiars. Revista de Imagen, Artes y Educación Crítica y Social*, 8. <https://revistascientificas.us.es/index.php/Communiars/article/view/22245>
- Huerta, R. y Suárez-Guerrero, C. (2022). Indagando en la hibridación entre las humanidades digitales y las pedagogías culturales. En B. Garrido-Ramos y J. Méndez-Martínez (coords.), *Actas de CIHUM 2022, Primer Macrocongreso Internacional de Ciencias y Humanidades Horizonte 2030* (pp. 503-522). Dykinson. <https://produccioncientifica.uv.es/documentos/62832a1a2b45a85f4eae2f66>
- Jerald, J. (2015). *The Vr Book: Human-centered Design for Virtual Reality*. Morgan & Claypool.
- Joklova, V. y Budreyko, E. (2019). Digital Technologies in Architectural Design, Verification and Representation. *2019 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*, 102-106. <https://doi.org/10.1109/EnT.2019.00028>
- Lampropoulos, G., Keramopoulos, E., Diamantaras, K. y Evangelidis, G. (2022). Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Public Perspectives, Sentiments, Attitudes, and Discourses. *Education Sciences*, 12(11), 798. <https://doi.org/10.3390/educsci12110798>
- Leandri, G., Abad, S. I., Vidal, F. J. y Leandri, M. (2022). El cerebro del arquitecto y la mano pensante. *ega Expresión Gráfica Arquitectónica*, 27(46), 184-193. <https://doi.org/10.4995/ega.2022.18434>
- Cook, A., Cotteleer, M. y Holdowsky, J. Digital Reality-A technical primer. *Deloitte Insights*. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/emerging-technologies/digital-reality-technical-primer.html>

- Paes, D., Arantes, E. y Irizarry, J. (2017). Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, 84, 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>
- Páramo, B. (2018). *La investigación en ciencias sociales: técnicas de recolección de la información*. Universidad Piloto de Colombia.
- Puggioni, M., Frontoni, E., Paolanti, M. y Pierdicca, R. (2021). ScoolAR: An Educational Platform to Improve Students' Learning Through Virtual Reality. *IEEE Access*, 9, 21059-21070. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051275>
- Quintana, M., Vargas, S. y Valbuena, W. (2017). La creatividad en el diseño: componentes sistémicos ¿Más codiseño, menos enseñanza? *Arte, Individuo y Sociedad*, 29(3), 445-462. <https://doi.org/10.5209/ARIS.55261>
- Radianti, J., Majchrzak, T., Fromm, J. y Wohlgemant, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Roldán, A. y Escandón, P. (2022). Cartografía de medios de representación arquitectónica en relación con resultados de aprendizaje. Caso de estudio: Programa de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. *Kepes*, 19(26), 673-707. <https://doi.org/10.17151/kepes.2022.19.26.21>
- Sanders, E. y Stappers, P. (2014). Probes, toolkits and prototypes: Three approaches to making in code-signing. *CoDesign*, 10(1), 5-14. <https://doi.org/10.1080/15710882.2014.888183>
- Souza de, P., Ferrer, E. y Naranjo, H. (2023). Coordination and methodological innovation of the drawing activities of the degree in Architecture. *Revista Internacional de Humanidades*, 12(núm. monográfico: Propuestas para una educación superior de calidad), 1-27. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11477121>
- Strauss, A. y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Universidad de Antioquia.
- Sutton, K. y Williams, A. (2011). Spatial ability and its implication for novice architecture students. *45th Annual Conference of the Architectural Science Association (ANZASCA)*. The University of Sydney. <https://archscience.org/wp-content/uploads/2014/08/51P98.pdf>
- Türkmenoglu Berkan, S., Öztas, S., Kara, F. y Vardar, A. (2020). The Role of Spatial Ability on Architecture Education. *Design and Technology Education*, 25(3), 103-126.
- Vassigh, S., Davis, D., Behzadan, A. H., Mostafavi, A., Rashid, K., Alhaffar, H., Elias, A. y Gallardo, G. (2020). Teaching Building Sciences in Immersive Environments: A Prototype Design, Implementation, and Assessment. *International Journal of Construction Education and Research*, 16(3), 180-196. <https://doi.org/10.1080/15578771.2018.1525445>
- Vygotsky, L. (2000). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Grupo Planeta (GBS).