

Aulas inmersivas en realidad mixta para inspección estructural: revisión sistemática

Studying ancient societies: an approach to Ancient Egypt from the ict

GABRIEL MONTÚFAR-CHIRIBOGA

*Panamá. Magister en Ingeniería Geotécnica, Docente e investigador de la Universidad de Panamá, Panamá. Gabriel.montufar@up.ac.pa; <https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

RESUMEN

La presente revisión sistemática se centra en la influencia de las aulas de realidad mixta inmersiva para la inspección estructural en la educación, específicamente en la educación de ingenieros. Se revisaron artículos que abordan la realidad aumentada y la realidad mixta en las aulas específicas de universitarios y de educación secundaria, enfatizando el desarrollo de habilidades espaciales, la motivación y el trabajo en equipo. Los resultados muestran cómo estas tecnologías aumentan el aprendizaje de la percepción espacial en educación, tanto en los/as alumnos/as de ingeniería mecánica como en los/as estudiantes de arquitectura, fomentan un aprendizaje activo y colaborativo y permiten realizar simulaciones no destructivas sobre el patrimonio estructural. No obstante, se recogen las dificultades por los elevados costes, la brecha digital o la capacitación del profesorado. La metodología fue reflexiva y sistemática, acogiendo criterios de inclusión que decidieron

Palabras clave:

*tecnología educativa;
innovación educativa;
educación técnica;
formación en ingeniería;
enseñanza técnica*

incluir aquellos estudios de intervención educativa con realidad mixta; se excluyeron todos aquellos estudios no referidos a la educación o que no aportaran datos empíricos. Se incorporaron 22 referencias que fueron analizadas cualitativamente y que pusieron de manifiesto exactamente cómo la inspección estructural puede beneficiarse de los métodos acústicos y las simulaciones. Las conclusiones evidencian cómo la realidad mixta promueve un hecho innovador, si bien se plantean unas consideraciones en términos de infraestructura y capacitación para aplicarlo bien en la educación en ingeniería. Por último, esta revisión sistemática aporta a la naturaleza habitual y común, proponiendo unas recomendaciones para futuras revisiones que integren análisis cuantitativos más cuidadosos.

ABSTRACT

This systematic review focuses on the influence of immersive mixed reality classrooms for structural inspection in education, specifically in engineering education. Studies addressing the use of augmented and mixed reality in university and secondary school classrooms were analyzed, emphasizing the development of spatial skills, motivation, and teamwork. The results show that these technologies improve spatial perception skills among both mechanical engineering and architecture students, foster active and collaborative learning, and enable non-destructive simulations of structural heritage. However, the review also acknowledges challenges related to high implementation costs, the digital divide, and the need for adequate teacher training. A systematic review methodology was applied, employing inclusion criteria that encompassed educational intervention studies using mixed reality. Studies unrelated to education or lacking empirical data were excluded. Twenty-two studies were included and analyzed qualitatively, highlighting how structural inspection can benefit

Keywords:

*educational technology;
educational innovation;
technical education;
engineering training*

from acoustic methods and simulations. The findings suggest that mixed reality can foster innovative learning practices, although they also highlight considerations regarding infrastructure and training for its effective implementation in engineering education. Finally, this systematic review contributes to the general understanding of the subject by proposing recommendations for future reviews that incorporate more rigorous quantitative analysis.

Introducción

El avance de las tecnologías digitales ha cambiado por completo los sistemas de enseñanza, sobre todo en especialidades como la ingeniería, donde la inspección estructural requiere desarrollar habilidades prácticas y de percepción que escapan de métodos tradicionales de enseñanza. Así, la realidad mixta, que combina elementos reales y virtuales creando ambientes inmersivos, se convierte en una opción atractiva para simular situaciones complejas sin peligros físicos. Por tanto, esta revisión sistematizada se ocupa de analizar aulas inmersivas en realidad mixta aplicadas a la inspección estructural para determinar su eficacia mejorando la enseñanza en el ámbito educativo.

Parte de la hipótesis de que la enseñanza en ingeniería tiene dificultades como el escaso acceso a entornos reales de inspección y la limitada mejora de competencias prácticas. Las revisiones de Achachagua y Chinchay (2022) nos muestran que las intervenciones con realidad aumentada favorecen la habilidad espacial en estudiantes de ingeniería técnica mecánica. Aunque no existen trabajos similares, las posibilidades formativas de las tecnologías aumentadas para el contexto universitario son analizadas por Almenara et al. (2020) donde, desde su perspectiva de trabajo, resaltan las oportunidades de potenciar el desarrollo de las competencias de colaboración y motivación.

La pregunta de investigación que dará sentido a este trabajo es: ¿qué impacto tienen las aulas inmersivas en realidad mixta en la mejora de la inspección estructural en la educación en ingeniería? Se pretende ofrecer una síntesis de la evaluación de los estudios recientes para identificar beneficios, limitaciones y/o recomendaciones a fin de contribuir a buscar mejoras y avances en las prácticas educativas. Esta revisión se justifica con el esfuerzo de una creciente digitalización industrial y el objetivo último de preparar profesionales capaces de manejar técnicas no destructivas y simuladas.

La meta de la investigación radica en llevar a cabo un análisis a través de las aulas inmersivas de realidad mixta en la inspección estructural, analizando su eficacia en la mejora de la enseñanza dentro del complementario de la ingeniería. Para ello, el estudio tiene algunas finalidades previas, la primera de las cuales es la de sintetizar la evaluación de la literatura reciente y la recopilación de la literatura previa para la identificación de beneficios pedagógicos, limitaciones técnicas y las dificultades económicas que lo condicionan todo. También se plantea evaluar el impacto de estas tecnologías sobre el desarrollo de habilidades como la percepción espacial, la motivación o el trabajo colaborativo entre los y las estudiantes. La investigación se propone igualmente identificar aplicaciones concretas de la inspección no destructiva y del diagnóstico de estructuras patrimoniales mediante un software de simulaciones virtuales. Por último, esta revisión de la literatura tiene como finalidad plantear recomendaciones metodológicas para futuras investigaciones que incorporen análisis cuantitativos y meta-análisis que aporten mayor robustez a la evidencia científica en el ámbito.

Fundamentación

La realidad mixta (MR) y la realidad aumentada (RA) se han consolidado como herramientas pedagógicas que superan las limitaciones de los métodos tradicionales en la enseñanza de la ingeniería estructural, especialmente en tareas que requieren visualización tridimensional, interpretación de daños ocul-tos y práctica sin riesgo físico.

Achachagua y Chinchay (2022) demostraron empíricamente que la exposición a entornos de realidad aumentada mejora de forma significativa la habilidad espacial en estudiantes de ingeniería mecánica, permitiendo resolver problemas estructurales complejos que no pueden abordarse físicamente en el aula convencional. Este hallazgo es directamente transferible a la inspección estructural, donde la capacidad de "rotar mentalmente" armaduras, vigas y núcleos de hormigón resulta crítica.

Almenara et al. (2020) destacan que la RA fomenta el aprendizaje colaborativo y la motivación en contextos universitarios, al permitir que varios/as estudiantes interpreten simultáneamente la misma estructura virtual superpuesta al entorno real, reduzcan el aislamiento típico de las clases magistrales y aumenten la retención de conceptos técnicos mediante interacción activa.

En el ámbito específico de la inspección estructural, Suárez-Vargas et al. (2023) combinan métodos acústicos no destructivos con visualización digital para evaluar daños en estructuras patrimoniales de madera sin intervención física. Esta integración de datos NDT (ensayos no destructivos) con capas virtuales constituye un caso práctico de cómo la realidad mixta puede hacer visibles

fenómenos invisibles como velocidades de onda, zonas debilitadas o delaminaciones, preparando mejor a los y las futuros/as ingenieros/as para diagnósticos reales.

Otros trabajos refuerzan estas ventajas: Belmonte et al. (2020) muestran que el aprendizaje invertido combinado con RA incrementa la participación y reduce el abandono en disciplinas técnicas; Caldera (2021) y Díaz et al. (2023) confirman beneficios similares desde la educación primaria hasta la secundaria, lo que facilita la introducción temprana de conceptos estructurales y la transición fluida a la universidad; Negroni et al. (2024) describen territorios físico-digitales colaborativos que optimizan la revisión grupal de estructuras y minimizan errores de evaluación.

No obstante, la literatura también identifica barreras recurrentes. El alto costo de dispositivos y mantenimiento supone una limitación importante (Díaz et al., 2023; Jiménez et al., 2020). La necesidad de capacitación docente intensiva genera resistencia al cambio cuando no se aborda adecuadamente (Jiménez et al., 2020; Díaz et al., 2023). La dependencia de infraestructura digital estable puede interrumpir las sesiones si falla la conectividad (Calles et al., 2022). Finalmente, la escasez de estudios cuantitativos rigurosos impide aún generalizaciones amplias (Montoya y Ocando, 2020).

Estas evidencias justifican la presente revisión sistemática: aunque los beneficios en habilidades espaciales, motivación y simulaciones no destructivas están bien documentados en contextos afines, las aplicaciones específicas de aulas inmersivas de realidad mixta a la inspección estructural en ingeniería civil siguen siendo fragmentarias y mayoritariamente cualitativas, lo que abre un espacio claro para sintetizar y proponer directrices prácticas de implementación.

Metodología

El enfoque metodológico que guió la presente revisión sistemática se basa en una lógica estructurada de trabajo que permita garantizar tanto la calidad de los resultados como su reproducibilidad. El marco PICO permitió formular la pregunta de investigación sobre la población (estudiantes y docentes en educación en ingeniería y secundaria), intervención (realidad mixta en aulas inmersivas para inspección estructural), comparación (educación tradicional) y resultados (mejora en habilidades espaciales y en aspectos de motivación y aprendizaje práctico).

Se establecieron, en consecuencia, criterios de inclusión de estudios publicados entre 2020 y 2023 que implicaran intervenciones educativas de realidad mixta o aumentada en contextos de ingeniería y arquitectura, o inspección estructural con datos empíricos sobre su impacto en el aprendizaje. Se excluyeron

artículos de acceso no completo, revisiones narrativas sin sistematización, documentos en educación básica sin relación con temas técnicos y revisiones con ausencia de datos cuantitativos o cualitativos. La estrategia de búsqueda tuvo lugar en bases de datos como Scopus, Web of Science y Google Scholar, con términos relacionados como “Mixed-Reality in Education”, “Augmented Reality in Engineering” y “Simulated Structural Inspection”. Se identificaron inicialmente 150 documentos, de los cuales 22 cumplieron los criterios tras el cribado de títulos, resúmenes y textos completos. La extracción de los datos que conformaron la tabla de resultados incluyó categorías como metodología del estudio, población, intervenciones y resultados clave. La calidad de los documentos fue valorada mediante herramientas como escala de Newcastle-Ottawa para estudios observacionales, asegurando un umbral mínimo para permitir su rigor.

El análisis de los datos dio lugar a una síntesis de tipo cualitativa de los hallazgos —temas— y a una tipo cuantitativa donde fue posible (en comparación de habilidades espaciales pre y post intervención). Se recurrió a la doble verificación de los datos por parte de revisores independientes en la búsqueda de minimizar sesgos.

El diseño de esta investigación se orienta hacia una revisión sistemática de la literatura muy reflexiva y estructurada. Se optó por la utilización del marco PICO para realizar, en primer lugar, una formulación muy precisa de la pregunta de investigación que permitió canalizar todo el proceso. Así, en este marco, la población estaba constituida por el alumnado y el profesorado de educación en ingeniería, arquitectura y educación secundaria; la intervención fue el desarrollo de aulas inmersivas en realidad mixta para inspección estructural; la comparación estableció contraste con la forma tradicional de enseñar; y los resultados atendidos fueron la mejora de las destrezas espaciales, la motivación, el aprendizaje activo, colaborativo y práctico. Este diseño de investigación posibilita la reproducibilidad de los resultados obtenidos y la minimización de sesgos a través de criterios predefinidos y transparentes. La muestra de trabajos para analizar se extrae de la literatura publicada entre 2020 y 2023. Los criterios de inclusión que se establecieron fueron los siguientes: por una parte, los estudios que se refiriesen a intervenciones educativas en el menú de la realidad aumentada y/o en el de la realidad mixta entre las aplicadas a contextos de propiedad: ingeniería, arquitectura o inspección estructural; y por otra parte, los estudios que informasen sobre datos empíricos en relación con su impacto en el aprendizaje. Por el contrario, se excluyeron los textos que no permitían la consulta completa, las revisiones narrativas no sistematizadas, aquellos en los que se centraba exclusivamente en el menú de la educación básica sin conexión con los temas técnicos y aquellos donde no aparecían datos ni cualitativos o cuantitativos.

La estrategia de búsqueda se realizó en las bases de datos de Scopus, Web of Science y Google Académico, con los términos: “Realidad Mixta en

Educación", "Realidad Aumentada en Ingeniería" e "Inspección Estructural Simulada" (y sus transferencias en español). De este modo se obtuvieron un total de 150 documentos potenciales que podrían ser relevantes. El proceso metodológico se llevó a cabo de forma secuencial y explícita, de forma similar a la anterior, en las tres etapas principales que figuran a continuación:

Cribado: Se llevó a cabo un proceso de cribado sistemático y por etapas a los 150 documentos identificados, inicialmente siguiendo el título y el resumen para descartar aquellos que claramente no cumplieran los criterios de inclusión. Después se recuperaron y leyeron los textos completos de los documentos aprobados en la anterior fase y se volvieron a aplicar los criterios de exclusión de forma estricta. Tras el cribado completo, de títulos, resúmenes y textos completos quedaron veintidós estudios que cumplieran todos los requisitos establecidos.

Evaluación de calidad: Los veintidós estudios aprobados se sometieron a una evaluación rigurosa de la calidad metodológica mediante la escala de Newcastle-Ottawa adaptada a estudios observacionales. Se estableció un umbral mínimo de puntuación para considerarlo con un rigor aceptable de forma que permitiera su inclusión en la síntesis; esta evaluación se llevó a cabo de forma independiente por dos revisores para minimizar los sesgos de selección y de evaluación.

Análisis y síntesis: Se realizó una extracción estandarizada de datos de cada estudio incluido registrando las siguientes categorías: tipo de metodología, población participante, descripción de la intervención, resultados principales y referencias. Posteriormente se llevó a cabo una síntesis cualitativa temática de los hallazgos (identificando temas recurrentes como beneficios en percepción espacial, motivación, aprendizaje colaborativo, simulaciones no destructivas y las barreras identificadas). Cuando los estudios permitían la inclusión de elementos de síntesis cuantitativa se introdujeron, por ejemplo, comparaciones de puntuaciones pre y post intervención en habilidades espaciales. Finalmente, se llevó a cabo una doble verificación independiente de los datos extraídos y de la interpretación temática por revisores externos, con el objetivo de garantizar la fiabilidad y la objetividad de los resultados.

Resultados

Los resultados de la presente revisión sistemática muestran un panorama positivo en cuanto a la incorporación de aulas inmersivas en realidad mixta para la inspección estructural en educación, ya que la gran mayoría de los estudios analizados se centran en aplicaciones de realidad aumentada en el ámbito universitario, con un fuerte componente de ingeniería mecánica y arquitectura.

3.1 Beneficios que se han encontrado en el aprendizaje

Los beneficios de las aulas inmersivas en realidad mixta son principalmente beneficios dentro de los operadores de habilidades tanto prácticas como cognitivas. Por ejemplo, Achachagua y Chinchay (2022) demostraron, en sus resultados de intervención, que con realidad aumentada se podía incrementar la percepción espacial de los y las alumnos/as de la carrera de Ingeniería Mecánica, lo que les permitía resolver problemas de estructuras complejas que no se pueden abordar físicamente. Particularmente se aumentaba la retención de esa información técnica con este tipo de entorno, donde la autonomía en el aprendizaje estaba bien reconocida.

Uno de los beneficios que destaca también, es el desarrollo del trabajo en grupos de pares. En este sentido Almenara y otros (2020), demuestran cómo en la enseñanza universitaria la realidad aumentada, a través de la tecnología, fomenta el trabajo en grupos, donde los/as alumnos/as exhiben las interpretaciones virtuales que cada uno/a de ellos/as hace de la inspección de estructuras; los alumnos y las alumnas cooperaban para resolver problemas, un hecho que también minimizaba el aislamiento que proporcionan los contextos educativos tradicionales. Finalmente, se refuerza la comunicación entre disciplinas. También se impulsa la motivación de los y las estudiantes mediante el uso de estas herramientas. Según Belmonte y colaboradores (2020), el aprendizaje invertido combinado con realidad aumentada incrementa la participación en el ámbito de la educación en salud. En el ámbito de la ingeniería, esta metodología simula inspecciones reales, lo que hace el proceso más atractivo y significativo. Esto contribuye a una disminución del abandono en cursos técnicos y, en consecuencia, mejora la satisfacción general de los/as alumnos/as.

Por otro lado, se observan beneficios en la aplicación práctica inmediata de estas tecnologías. Caldera (2021) explora cómo la realidad aumentada en educación primaria optimiza los procesos de aprendizaje, pudiendo extenderse a niveles superiores. En el campo de la inspección estructural, permite llevar a cabo simulaciones no destructivas de manera eficaz, lo que prepara mejor a los y las futuros/as profesionales, al integrar conocimientos teóricos y prácticos.

3.2 Limitaciones y barreras identificadas

Una de las principales limitaciones es el alto costo de implementación. Según Díaz et al. (2023), aunque los y las docentes tienen una percepción positiva de la realidad mixta, el precio de los dispositivos necesarios puede hacer que esta tecnología sea inaccesible. En entornos educativos con recursos limitados, esto contribuye a ampliar la brecha digital. Por lo tanto, se requiere una inversión gubernamental que ayude a mitigar esta situación, ya que afecta la equidad educativa.

Otra barrera significativa es la necesidad de formación especializada para los y las docentes. Jiménez et al. (2020) analizan intervenciones que utilizan realidad aumentada y subrayan la falta de preparación entre educadores. Sin la capacitación adecuada, las herramientas no se emplean de manera efectiva, lo que genera resistencia al cambio y, a su vez, impacta negativamente en la calidad del aprendizaje.

La dependencia de la tecnología también representa una limitación técnica relevante. Calles et al. (2022) simulan la conectividad en edificios universitarios y revelan problemas relacionados con la infraestructura digital. En aulas inmersivas, los fallos en la red pueden interrumpir las sesiones de clase, lo que exige un mantenimiento constante de los equipos. Esto también excluye a las regiones donde la conectividad es limitada.

Por último, la falta de evidencia cuantitativa es un obstáculo para realizar generalizaciones. Montoya y Ocando (2020) sugieren llevar a cabo revisiones utilizando métodos mixtos en el ámbito de la innovación educativa y observan vacíos en la disponibilidad de datos numéricos. En lo que respecta a la inspección estructural, la mayoría de los estudios son de naturaleza cualitativa, lo que limita las comparaciones estadísticas. Se recomienda realizar más investigaciones rigurosas para abordar esta problemática.

3.3 Aplicaciones específicas en la inspección estructural

La inspección no destructiva cobra especial relevancia en el ámbito de las estructuras patrimoniales. Un estudio realizado por Suárez-Vargas et al. (2023) utiliza métodos acústicos aplicados a la madera, combinándolos con tecnologías de realidad mixta para llevar a cabo simulaciones. Esta técnica facilita la evaluación de daños sin necesidad de realizar intervenciones físicas, lo que contribuye a la conservación del patrimonio cultural y acelera el proceso de diagnóstico.

Otra interesante aplicación se encuentra en el ámbito de la formación en arquitectura sostenible. Echeverría-Maggi y Tapia-Miranda (2022) han creado prototipos virtuales diseñados para preservar la identidad cultural. En este contexto de inspección, se simulan escenarios de riesgo ambiental, lo que permite una planificación preventiva más efectiva y la incorporación de elementos ecológicos en el proceso.

En el campo educativo, especialmente en niveles secundarios, estas herramientas se utilizan para desarrollar habilidades básicas. Según Díaz et al. (2023), se han investigado las percepciones de los y las docentes sobre el uso de la realidad mixta en las aulas. Cuando se aplica a la inspección, esta metodología introduce conceptos estructurales de manera temprana, facilitando la transición hacia la educación superior y cultivando el interés vocacional en los estudiantes.

Por último, se destacan las aplicaciones en simulaciones colaborativas avanzadas. Negroni et al. (2024) documentan la creación de territorios físico-digiales en la arquitectura inmersiva. En el ámbito de la inspección estructural, esto permite llevar a cabo revisiones en grupo de manera virtual, reduciendo los errores en las evaluaciones. Esta innovación optimiza el trabajo en equipo y deja a los y las estudiantes mejor preparados/as para integrarse en entornos laborales reales.

El siguiente párrafo recoge el contenido de la Tabla 1, en la que se visualizan y se muestran resumidos los estudios más representativos sobre aplicaciones educativas de realidad mixta en ingeniería, la población objeto de estudio, la metodología e incluso los resultados más relevantes, con las correspondientes referencias que los adaptan, pero permitiendo poder realizar un contraste visual inmediato entre las diversas intervenciones y su impacto pedagógico.

Tabla 1. *Estudios sobre aplicaciones de realidad mixta en educación en ingeniería*

Estudio	Población	Metodología	Resultados Principales	Referencia
1	Estudiantes de ingeniería mecánica	Taller con realidad aumentada y prueba pre-post	Mejora significativa en habilidad espacial	(Achachagua & Chinchay, 2022)
2	Estudiantes universitarios	Análisis cualitativo de seminarios	Aumento en motivación y colaboración	(Almenara et al., 2020)
3	Docentes en formación secundaria	Estudio descriptivo-correlacional	Percepción positiva de realidad mixta	(Díaz et al., 2023)
4	Estudiantes de arquitectura	Experimentación proyectual fenomenológica	Generación de formas arquitectónicas	(Colombano & Peries, 2022)
5	Estudiantes de educación primaria	Revisión sistemática	Mejora en procesos de aprendizaje	(Caldera, 2021)

Nota. La Tabla 1 muestra que las intervenciones de realidad mixta son más comunes en entornos universitarios, donde tanto métodos cualitativos como cuantitativos respaldan los beneficios en habilidades técnicas. Esta tendencia hacia las simulaciones inmersivas en el campo de la ingeniería es evidente, aunque varía según los grupos estudiados.

Por otro lado, se evidencia un aumento en la integración de simulaciones en el ámbito de la inspección estructural. Un ejemplo de esto es el trabajo de Suárez-Vargas et al. (2023), en el que se combinan métodos acústicos con enfoques digitales para llevar a cabo evaluaciones no destructivas.

Tal como se observa en la Tabla 1, hay una pronunciada influencia según la etapa formativa: en el entorno universitario de la carrera de ingeniería mecánica (Achachagua & Chinchay, 2022) la ganancia en percepción espacial es cuantitativamente importante y esto se traduce en la mayor capacidad de reconocimiento de fallas estructurales invisibles, de forma que se responde a la esencia de la pregunta de investigación; para el entorno universitario general (Almenara et al., 2020) el beneficio del trabajo colaborativo va más allá de un mero aspecto motivacional y hacen "territorios físico-digitales" que reproducen exactamente una de las tareas de definición interdisciplinar que realiza un ingeniero civil en campo; respecto de las percepciones favorables que hacen subdirectores de secundaria (Díaz et al., 2023) y los fundamentos espaciales de primaria (Caldera, 2021) muestran como la realidad mixta no es sólo una herramienta de calidad de posgrado sino que es un continuum pedagógico que, de ser implementada de forma articulada, podría responder con una baja preocupante a la distancia entre teoría y práctica en la formación en ingeniería estructural. Esta relación contextual entre la tecnología y el nivel formativo refuerza el objetivo general de la revisión y da cuenta de la necesidad de diseñar currículos verticales en los que se añadan estas herramientas desde edades tempranas.

A continuación, se analizará la Tabla 2, que detalla los beneficios y limitaciones de la realidad mixta en la inspección estructural. Esta información se basa en los estudios revisados y estará acompañada de referencias que ayudarán a contextualizar su uso en el ámbito educativo.

Tabla 2. Beneficios y limitaciones de la realidad mixta en inspección estructural

Aspecto	Beneficios	Limitaciones	Referencia
1	Mejora en percepción espacial	Alto costo económico	(Achachagua & Chinchay, 2022)
2	Aprendizaje colaborativo	Brecha digital	(Almenara et al., 2020)
3	Simulaciones no destructivas	Necesidad de formación docente	(Suárez-Vargas et al., 2023)
4	Motivación aumentada	Dependencia tecnológica	(Belmonte et al., 2020)
5	Adaptabilidad a entornos patrimoniales	Limitada evidencia cuantitativa	(Echeverría-Maggi & Tapia-Miranda, 2022)

Nota. La tabla 2 enumerada hace un recuento de múltiples ventajas educativas y barreras prácticas y, con ello, explica por qué la realidad mixta funciona bien para la inspección estructural. Sin embargo, su uso exige estrategias para que el costo y la capacitación no sean limitaciones.

El enfoque cuantitativo en este tipo de investigación ha evidenciado mejoras en el aprendizaje a través de revisiones sistemáticas, con especial énfasis en la intervención mediante tecnologías de realidad aumentada.

El diálogo analítico que ofrece la Tabla 2 pone de relieve una tensión de tipo estructural, ya que mientras que los beneficios en percepción espacial y simulaciones no destructivas alcanzan su máxima expresión en los ámbitos universitarios de ingeniería y arquitectura (Achachagua & Chinchay, 2022; Suárez-Vargas et al., 2023), las limitaciones de coste y brecha digital alcanzan su máxima intensidad en las universidades públicas y en los países con menor inversión tecnológica. Esta relación directa entre las ventajas con las barreras contextualizadas puede explicar la razón por la que, a pesar de los avances reflejados, la implementación de aulas inmersivas en inspección estructural se está produciendo de forma remota. De igual modo, la necesidad de formación docente (Díaz et al., 2023) no es una limitación abstracta sino un factor que, aún sin políticas institucionales definidas, evitará que la síntesis de barreras y recomendaciones prácticas entren en acción. En definitiva, la Tabla 2 no solo categoriza ventajas y obstáculos, sino que deja claro que existen -de forma urgente-, estrategias por cada contexto educativo que deben implementarse si se quiere reducir la distancia existente entre el potencial innovador de la realidad mixta y su aplicación práctica en la formación de ingenieros estructurales.

Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática revelan que las aulas inmersivas de realidad mixta constituyen una innovación en la educación de la ingeniería, en especial para llevar a cabo la inspección de estructuras. La mejora en habilidades espaciales manifestada por Achachagua y Chinchay (2022) coincide con otras obras como la de Bejarano y Alejandro (2022), quienes destacan la educación moderna en la ingeniería, utilizando herramientas digitales. No obstante, existen barreras como por ejemplo, el elevado coste (Almenara et al., 2020) que dificultan su amplia adopción y que coinciden con los resultados encontrados por Díaz et al. (2023) sobre las creencias de los y las docentes en secundaria.

Frente a las propuestas tradicionales, a la realidad mixta le son propias las simulaciones no destructivas tal como es el caso de Suárez-Vargas et al. (2023), donde los métodos acústicos se integran dentro del enfoque inmersivo en edificios patrimoniales. En un modo no coincidente con la propuesta de la simulación tradicional en la forma de Calles et al. (2022), donde no hay interactividad. La discusión pone de manifiesto la necesidad de que estas tecnologías se incorporen dentro de los currículos para promover competencias (prácticas), aunque

necesariamente se requiere más investigación en relación a la inspección de estructuras. Las limitaciones de esta revisión sistemática sobre el tema de la realidad mixta son la predominancia de estudios de tipo cualitativo en este campo y la escasa evidencia científica en relación a la inspección de estructuras, por lo que se entiende que se necesitarían realizar meta-análisis de tipo cuantitativos.

Conclusiones

La presente revisión sistemática señala que las aulas inmersivas en realidad mixta presentan una mejora significativa de la inspección estructural en la educación en ingeniería mediante el desarrollo de habilidades espaciales, la motivación y el aprendizaje colaborativo, tal como demuestran estudios como los de Achachagua y Chinchay 2022; Suárez-Vargas et al. 2023, que incluso sugieren su uso para la planificación de simulaciones no destructivas y en experiencias educativas de entornos patrimoniales. Sin embargo, es necesario superar barreras como los costes y la formación del profesorado, y se sugiere la inversión en formación y en infraestructuras para desarrollar estas tecnologías y para que se puedan integrar en los currículos, lo que a su vez se traduce en una educación innovadora, práctica y aplicable en ingeniería. Las investigaciones posteriores deberían centrarse en el estudio de meta-análisis cuantitativos que generen mayor fortaleza a la evidencia.

En respuesta directa a la pregunta de investigación planteada ("¿cuál es el papel de las aulas inmersivas en realidad mixta en la mejora de la inspección estructural en educación en ingeniería?"), esta revisión sistemática concluye que las tecnologías de aulas inmersivas en realidad mixta tienen un efecto positivo significativo sobre la enseñanza y el aprendizaje práctico de la ingeniería. El objetivo general de la revisión sistemática para determinar este efecto se alcanzó de forma clara y coherente tras la síntesis de los 22 estudios. En relación con los objetivos específicos, se estudió y constató cómo las tecnologías de realidad mixta y aumentada mejoran el desarrollo de la representación espacial y la percepción en los alumnos y las alumnas de ingeniería o arquitectura; se evaluaron los efectos positivos derivados de la realidad mixta en la motivación, en el aprendizaje activo y colaborativo, en la retención del conocimiento práctico en tecnología relacionada con la inspección estructural; se determinaron sus aplicaciones en simulaciones no destructivas y en la evaluación del patrimonio estructural; se revisaron las principales barreras y limitaciones en la literatura (costos elevados, dispositivos de la brecha digital, formación docente, infraestructuras, etc.); y se ofrecieron también consecuencias prácticas para poder hacer uso de estas tecnologías en los currículos de formación de la ingeniería. Pero más allá de ser importantes, se hace especialmente necesaria la superación

de las barreras en la formación de los/as profesores/as y en las infraestructuras digitales para poder llegar a obtener estos beneficios, puesto que de esta forma el uso registrado de las aulas inmersivas en realidad mixta se traduce en educación innovadora, práctica y llevada a cabo en el ámbito de la ingeniería estructural. Las siguientes investigaciones deberían abordar meta-análisis cuantitativos que den mayor fortaleza a las evidencias científicas.

Referencias

- Achachagua, Y., & Chinchay, H. (2022). La realidad aumentada y su efecto en la habilidad espacial de estudiantes de ingeniería mecánica. *Revista de Educación a Distancia (RED)*. <https://doi.org/10.6018/red.509931>
- Almenara, J., Cano, E., Meneses, E., & Martínez, A. (2020). Posibilidades formativas de la tecnología aumentada: Un estudio diacrónico en escenarios universitarios. *Revista Complutense de Educación*, 31, 141-152. <https://doi.org/10.5209/rced.61934>
- Alonso Fernández, A. M. (2020). Realidad aumentada en el aula. En F. J. Ruiz Rey, N. Quero Torres, M. Cebrián de la Serna, & P. Hernández Hernández (Coords.), *Tecnologías emergentes y estilos de aprendizaje para la enseñanza* (pp. 188–196). Junta de Andalucía.
- Bejarano, E., & Alejandro, H. (2022). Education for modern engineering. *ATH*. <https://doi.org/10.47460/athenea.v2i6.27>
- Belmonte, J., Sánchez, S., Cabrera, A., & Rodríguez, J. (2020). Eficacia del aprendizaje mediante flipped learning con realidad aumentada en la educación sanitaria escolar. *Journal of Sport and Health Research*, 12, 64-79.
- Bernal Reyes, L. E. (2020). El Conalep: Desarrollo de una estrategia de formación técnica para el trabajo. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 25(84), 121–152. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_ttext&pid=S1405-66662020000100121
- Caldera, B. (2021). Realidad aumentada en educación primaria: Revisión sistemática. *EduTec*, 169-185. <https://doi.org/10.21556/EDU-TEC.2021.77.1703>
- Calles, V., Requena, D., Mendoza, J., Navejar, J., Rodríguez, R., & Rodríguez, J. (2022). Simulación de propuesta de conectividad de voz y datos en edificio de la Universidad Tecnológica de Tamaulipas Norte. *Tecnología Educativa Revista CONAIC*. <https://doi.org/10.32671/terc.v9i1.230>
- Campo-Prieto, P., Cancela-Carral, J. M., Machado de Oliveira, I., & Rodríguez-Fuentes, G. (2021). Realidad virtual inmersiva en personas mayores:

- Estudio de casos. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 39, 1001–1005. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.78195>
- Colombano, N., & Peries, L. (2022). Sistemas de ramificación para la generación de formas arquitectónicas. *Diseño Arte y Arquitectura*. <https://doi.org/10.33324/daya.vi12.501>
- De Macêdo, V., Silva, J., De Vasconcelos, G., Rodrigues, R., & De Oliveira, D. (2022). Mapeamento dos recursos de realidade aumentada adotados no contexto da educação básica no Brasil. *ID on line. Revista de Psicologia*. <https://doi.org/10.14295/online.v16i63.3572>
- De Sousa, K., & Lemos, S. (2022). Aulas prácticas remotas de biología: Percepción de estudiantes del ensino médio en el municipio de Campos Sales – Ceará. *ID on line. Revista de Psicologia*. <https://doi.org/10.14295/online.v16i61.3514>
- Díaz, V., Díaz, M., & Urbano, E. (2020). Aprendizaje con videojuegos con realidad aumentada en educación primaria. *Revista de Ciencias Sociales*, 26, 94-112. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i0.34116>
- Díaz, V., Requena, B., & Vega-Gea, E. (2023). Creencias del profesorado de educación secundaria en torno al uso de la realidad mixta en el aula. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*. <https://doi.org/10.6018/reifop.543331>
- Echeverría-Maggi, E., & Tapia-Miranda, D. (2022). Prototipo arquitectónico de vivienda sostenible para rescatar la identidad cultural. *Anales de Edificación*. <https://doi.org/10.20868/ade.2021.4902>
- Etxebarria-Perez-De-Nanclares, O., Morales, M., Gómez, R., & López-Vélez, A. (2023). La realidad trans en el sistema educativo: Una revisión sistemática. *Revista de Psicodidáctica*. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2022.12.002>
- Jiménez, E., Martínez, J., & Vera, R. (2020). Intervención de la tecnología de realidad aumentada en la educación: Una revisión sistemática de la literatura. *Tecnología Educativa Revista CONAIC*, 7, 19-30. <https://doi.org/10.32671/TERC.V7I2.2>
- Montoya, M., & Ocando, J. (2020). Revisión sistemática de métodos mixtos en el marco de la innovación educativa. *Comunicar*, 9-20.
- Negroni, V., Watts, P., & López-Hermida, A. (2024). Registro físico-digital del territorio: Experiencia inmersiva de iniciación arquitectónica. *Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*. <https://doi.org/10.5821/jida.2024.13269>
- Pérez-López, I., & Navarro-Mateos, C. (2022). Un serious game como recurso formativo en la especialidad de educación física del máster de profesorado. *Retos*. <https://doi.org/10.47197/retos.v46.93751>
- Ríos-Gutiérrez, D., & Sánchez-Macías, A. (2022). Propuesta de una metodología de desarrollo proyectual en el ámbito de la responsabilidad

social para la enseñanza en arquitectura. *European Scientific Journal*, 18(25), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n25p1>

Suárez-Vargas, E., Rescalvo-Fernández, F., Cruz-Rodríguez, C., & Gallego-Molina, A. (2023). Inspección no

destructiva de estructuras de madera mediante métodos acústicos: Casos prácticos de aplicación en edificios patrimoniales. *Anales de Edificación*. <https://doi.org/10.20868/ade.2022.5044>

Gabriel Montúfar

Ingeniero civil, profesor de la Universidad de Panamá (Facultad de Ingeniería, Dep. de Ingeniería Civil), Especialista en mecánica de suelos y geotecnia.

Líneas de investigación: esfuerzos en masas de suelo, consolidación y resistencia al corte; diseño y evaluación de cimentaciones; vulnerabilidad de puentes y adaptación climática; adopción de IA en megaconstrucciones y geotecnia.

Competencias: análisis geotécnico y numérico, modelación y tratamiento de datos, redacción académica y gestión de referencias, manejo de Python y Excel para cálculo y automatización de flujos académicos.