

**COMPLEX RESTORATIVE PROCEDURES WITH MIXED REALITY APPLICATION AND DYNAMIC DIGITAL NAVIGATION**Luis Orlando Albarracin-Zambrano<sup>1</sup>**E-mail:** [uq.luisalbarracin@uniandes.edu.ec](mailto:uq.luisalbarracin@uniandes.edu.ec)**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3164-5229>Damarys Vanessa Muñoz-Briones<sup>1</sup>**E-mail:** [damarysmb61@uniandes.edu.ec](mailto:damarysmb61@uniandes.edu.ec)**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-1724-851X>Lourdes Elizabeth Menéndez-Oña<sup>1</sup>**E-mail:** [uq.lourdesmo79@uniandes.edu.ec](mailto:uq.lourdesmo79@uniandes.edu.ec)**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9229-6504><sup>1</sup> Universidad Regional Autónoma de los Andes. Ecuador.**Cita sugerida (APA, séptima edición)**

Albarracin-Zambrano, L. O., Muñoz-Briones, D. V., & Menéndez-Oña, L. O. (2026). Procedimientos restauradores complejos con aplicación de realidad mixta y navegación digital dinámica. *Revista UGC*, 4(2), 125-134.

**Fecha de presentación:** 26/12/2025**Fecha de aceptación:** 21/02/2026**Fecha de publicación:** 01/04/2026**RESUMEN**

La integración de software de realidad mixta con sistemas de navegación digital dinámica ha significado un avance sustancial para la odontología restauradora, especialmente en intervenciones de alta complejidad que demandan un control visual inmediato y una exactitud máxima. Esta revisión sistemática analizó estudios de los últimos cinco años, indexados en bases de datos acreditadas, centrados en la mejora de la planificación, ejecución y validación de restauraciones dentales complejas mediante tecnologías digitales. Se evaluó la rigurosidad metodológica de las investigaciones para determinar la solidez de la evidencia disponible. Los resultados indicaron que la realidad mixta, al fusionar modelos tridimensionales con el campo operatorio, mejora la orientación espacial del profesional y favorece la preservación de las estructuras dentales y periodontales. En paralelo, la navegación digital dinámica permite un seguimiento en tiempo real de los instrumentos, reduciendo errores durante el procedimiento y aumenta la exactitud del resultado restaurador. La combinación de ambas tecnologías representa un paso importante hacia abordajes más personalizados, seguros y precisos, que favorece el trabajo de los profesionales durante la intervención y el posterior tratamiento, reduce el tiempo de los procesos operatorios y brinda mayor seguridad al paciente en su recuperación; no obstante, se requieren estudios clínicos a largo plazo

para confirmar su impacto en la longevidad de las restauraciones, los que permitan ganar en confiabilidad y eficacia además de contribuir a mejorar cada una de las técnicas aplicadas.

**Palabras clave:**

Procedimientos, precisión, seguridad, tecnologías computarizadas, diagnóstico.

**ABSTRACT**

The integration of mixed reality software with dynamic digital navigation systems has represented a substantial advance for restorative dentistry, especially in highly complex procedures that demand immediate visual control and maximum accuracy. This systematic review analyzed studies from the last five years, indexed in accredited databases, focused on improving the planning, execution, and validation of complex dental restorations using digital technologies. The methodological rigor of the research was assessed to determine the strength of the available evidence. The results indicated that mixed reality, by merging three-dimensional models with the operating field, improves the professional's spatial orientation and promotes the preservation of dental and periodontal structures. Simultaneously, dynamic digital navigation allows for real-time tracking of instruments, reducing errors during the procedure and increasing the accuracy of the restorative outcome. The combination of both technologies



represents an important step towards more personalized, safe, and precise approaches, facilitating the work of professionals during the procedure and subsequent treatment, reducing the time of operative processes, and providing greater safety for the patient during recovery; however, long-term clinical studies are required to confirm its impact on the longevity of restorations, which will allow for increased reliability and effectiveness, as well as contribute to improving each of the techniques applied.

#### Keywords:

Procedures, precision, safety, computerized technologies, diagnostics.

## INTRODUCCIÓN

La odontología restauradora contemporánea enfrenta el desafío constante de lograr tratamientos cada vez más precisos, seguros y mínimamente invasivos, especialmente en casos clínicos complejos que requieren la máxima preservación de tejido dental y periodontal. En este contexto, la incorporación de tecnologías avanzadas ha revolucionado la forma en que se planifican y ejecutan los procedimientos, ofreciendo al clínico herramientas que mejoran la visualización, la orientación y el control intraoperatorio.

Entre estas innovaciones, la realidad mixta (RM) y la navegación digital dinámica (NDD) han emergido como soluciones sin precedentes para potenciar la exactitud y la eficiencia operatoria en la práctica restauradora. A diferencia de la realidad aumentada o virtual, la RM combina elementos virtuales y reales en un mismo entorno interactivo, permitiendo al odontólogo superponer modelos tridimensionales del paciente sobre el campo clínico en tiempo real (Alghauli et al., 2025).

Según lo expuesto por Shusterman et al. (2024), la navegación digital dinámica, por su parte, posibilita un rastreo continuo y preciso de la posición y el movimiento de los instrumentos dentales mediante sistemas de cámaras y sensores, ofrece retroalimentación inmediata y aumenta la predictibilidad del procedimiento. La integración de esta tecnología con plataformas de realidad mixta permite una sinergia única: el operador no solo sigue una guía digital en tiempo real, sino que además interactúa con un modelo virtual superpuesto directamente sobre la cavidad oral, lo que optimiza la alineación y minimiza desviaciones operatorias. Esta combinación ha demostrado reducir significativamente los márgenes de error en procedimientos como reconstrucciones extensas, rehabilitaciones sobre implantes y restauraciones estéticas de alta complejidad.

A pesar de estos avances, según Yang et al. (2022), la literatura científica disponible señala que la aplicación clínica de la RM y la NDD en odontología restauradora todavía enfrenta barreras importantes. Entre ellas se encuentran los altos costos de implementación, la limitada

disponibilidad de equipos especializados y la necesidad de formación avanzada para el personal odontológico. Asimismo, gran parte de los estudios reportados hasta la fecha corresponden a investigaciones piloto o de laboratorio, con muestras reducidas y seguimiento limitado, lo que dificulta la generación de evidencia sólida y generalizable. También se observa una escasez de estudios comparativos directos con técnicas convencionales que permitan evaluar de manera objetiva el impacto de estas herramientas en la calidad de las restauraciones, la satisfacción del paciente y la durabilidad del tratamiento.

Estudios cuantitativos recientes como el realizado por Wang et al. (2025) han evidenciado que esta integración reduce significativamente la incidencia de errores operatorios, disminuye los tiempos quirúrgicos y mejora la calidad y adaptación marginal de las restauraciones, traduciéndose en mejores resultados clínicos y mayor satisfacción del paciente. Además, la reducción de la invasividad derivada de esta precisión tecnológica contribuye a minimizar el dolor postoperatorio y acelerar la recuperación.

La capacidad de superponer modelos digitales tridimensionales a la anatomía real del paciente mediante software de realidad mixta ha abierto un nuevo paradigma en la personalización y precisión de tratamientos restauradores complejos. Esta tecnología proporciona al clínico una comprensión espacial detallada que facilita la identificación de estructuras anatómicas críticas como nervios, vasos sanguíneos y límites óseos, aspectos fundamentales para evitar complicaciones y optimizar los resultados funcionales. Integrado con sistemas de navegación digital dinámica, el software guía al operador durante todo el procedimiento, mostrando en tiempo real la posición exacta de los instrumentos en relación con el plan digital previamente diseñado. Esta sinergia tecnológica ha demostrado en múltiples estudios descriptivos y cuantitativos que mejora la exactitud en la preparación cavitaria, la colocación de postes y la adaptación de restauraciones indirectas, logrando un control excepcional sobre variables críticas como la angulación y profundidad. Además, el uso combinado de estas herramientas se asocia con una disminución significativa de fallos restauradores, reducción del desgaste dental no deseado y aumento en la longevidad de las restauraciones, factores que incrementan la calidad de vida del paciente y la rentabilidad del tratamiento.

En el ámbito de los procedimientos restauradores complejos, la integración de software de realidad mixta con sistemas de navegación digital dinámica representa una innovación tecnológica clave que promete revolucionar la precisión y personalización de los tratamientos odontológicos. Por ello, es fundamental realizar revisiones sistemáticas que consoliden y analicen la evidencia científica más reciente sobre esta integración tecnológica, evaluando la calidad metodológica de los estudios disponibles y

su aplicabilidad clínica real. Estas investigaciones deben identificar no solo los beneficios técnicos y clínicos, como la mejora en la visualización tridimensional y el control en tiempo real, sino también las limitaciones operativas, los desafíos en la adopción clínica y la necesidad de protocolos estandarizados para maximizar su efectividad. El presente trabajo tiene como objetivo examinar críticamente el papel del software de realidad mixta integrado en la navegación digital dinámica durante procedimientos restauradores complejos, resaltando su potencial para transformar los estándares actuales en precisión, seguridad y personalización dentro de la odontología restauradora moderna.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se fundamenta en una revisión sistemática de la literatura científica de carácter cuantitativo y descriptivo, orientada a analizar el impacto y la aplicabilidad del software de realidad mixta integrado con sistemas de navegación digital dinámica en procedimientos restauradores complejos. El objetivo principal fue evaluar los beneficios clínicos, las limitaciones técnicas, la precisión operatoria y la viabilidad de estas tecnologías en la práctica odontológica contemporánea.

Para la recopilación de información se consultaron bases de datos científicas reconocidas internacionalmente, tales como PubMed, Scopus, ScienceDirect y Web of Science. La búsqueda se limitó a artículos publicados entre los años 2020 y 2025, con la finalidad de incluir las investigaciones más actuales, relevantes y con mayor rigor metodológico en esta área tecnológica.

Los criterios de inclusión consideraron estudios originales, ensayos clínicos, estudios de cohorte, análisis comparativos y revisiones sistemáticas que abordaran el uso de software de realidad mixta y navegación digital dinámica en odontología restauradora, especialmente en tratamientos complejos que requieren alta precisión y control visual en tiempo real. Se priorizaron investigaciones que evaluaran parámetros como la exactitud en la ejecución de procedimientos, la reducción de errores intraoperatorios, la mejora en la planificación digital personalizada y la experiencia del operador. Se admitieron publicaciones en inglés y español, siempre que cumplieran con estándares éticos y científicos.

De un total de 45 artículos identificados inicialmente, se seleccionó un grupo que cumplía con los criterios establecidos, al satisfacer rigurosos requisitos de inclusión, con prioridad para los estudios experimentales, las revisiones sistemáticas con evidencia directa sobre la efectividad, la exactitud y los beneficios clínicos de estas tecnologías en odontología restauradora y los ensayos clínicos. Los trabajos incluidos abarcaban desde aplicaciones experimentales y pilotos clínicos hasta análisis comparativos con técnicas tradicionales en restauración dental compleja guiada por navegación digital. Se excluyeron tres

artículos debido a falta de relevancia directa, deficiencias metodológicas, ausencia de integración entre realidad mixta y navegación dinámica o duplicidad de resultados.

Este proceso de selección rigurosa permitió obtener una base sólida de evidencia científica, que fue analizada críticamente para identificar los aportes, las limitaciones y las perspectivas futuras del uso combinado de realidad mixta y navegación digital dinámica en procedimientos restauradores complejos, con miras a optimizar la práctica clínica y promover investigaciones posteriores en esta área innovadora de la odontología digital.

Revisión Literaria: La adopción de software de realidad mixta en odontología restauradora representa un avance revolucionario que ha transformado radicalmente la planificación y ejecución de procedimientos complejos. Esta tecnología permite la fusión en tiempo real de imágenes digitales tridimensionales con la anatomía física del paciente, posibilitando una visualización inmersiva y contextualizada durante todo el procedimiento. Esto es especialmente crucial en restauraciones que requieren alta precisión, como las rehabilitaciones parciales complejas, donde el margen de error debe minimizarse para preservar la integridad de los tejidos circundantes y garantizar la funcionalidad óptima. La navegación digital dinámica complementa esta realidad al ofrecer seguimiento continuo y en tiempo real de los instrumentos, con retroalimentación visual y táctil que permite al operador realizar ajustes inmediatos en la trayectoria y profundidad de corte o colocación de restauraciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática reunió y examinó trabajos científicos descriptivos y cuantitativos que fueron publicados entre 2020 y 2025, los cuales se centraron en el uso de software de realidad mixta combinado con navegación digital dinámica en procedimientos restauradores complejos. Los hallazgos indican que la combinación de realidad mixta con navegación digital dinámica aumenta notablemente la exactitud en el posicionamiento y preparación de restauraciones complejas, disminuyendo el margen de error en la colocación y adaptabilidad marginal a menos de 100 micras promedio, en comparación con métodos tradicionales sin guía.

Esta mejora posibilita conservar más tejido periodontal y dental sano, reduciendo los preparativos excesivos y el daño iatrogénico. Como resultado, las restauraciones tienen una durabilidad mayor y la necesidad de retratamientos es menor. Asimismo, las investigaciones revisadas enfatizan que la superposición en 3D de imágenes digitales con el campo clínico les proporciona a los operadores un mejoramiento en su orientación espacial y una visualización permanente de dónde están los instrumentos. Esto facilita llevar a cabo procedimientos extremadamente complicados, como la colocación de carillas ultradelgadas, las reconstrucciones postraumáticas y las

rehabilitaciones completas. Este seguimiento dinámico disminuye de manera importante la frecuencia de errores operativos y contactos oclusales prematuros, optimizando así la función estética dental y masticatoria.

Por otra parte, la programación anticipada con modelos digitales 3D personalizados y la navegación digital activa ha mejorado el tiempo de cirugía y de clínica, lo que se traduce en una disminución media del 25% en el tiempo de procedimientos complicados. Esto no solo optimiza la experiencia del paciente al disminuir el estrés y la fatiga operatorios, sino que además eleva la efectividad clínica, ya que posibilita atender a más pacientes sin poner en riesgo la calidad de los tratamientos.

Se observó una reducción significativa en las complicaciones, como el dolor, la inflamación y el riesgo de que se fracturen o lesionen los tejidos adyacentes, debido a la guía digital exacta y al monitoreo en tiempo real. Además, gracias a la incorporación de inteligencia artificial en estos sistemas se han implementado alertas en tiempo real para prevenir desviaciones durante el proceso. Esto ha contribuido a elevar la seguridad y a estandarizar la calidad clínica, incluso cuando los operadores tienen distintos grados de experiencia.

Los beneficios estéticos no se quedan atrás, ya que la personalización avanzada a través de la realidad mixta ha hecho más fácil el ajuste y evaluación en tiempo real del color, forma y ubicación de las restauraciones. Esto ha generado una mayor satisfacción del paciente y un mejor diálogo entre odontólogo y paciente durante el tratamiento. Asimismo, la interoperabilidad con sistemas CAD/CAM ha acelerado el proceso de fabricación y adaptación de restauraciones, lo que ha optimizado la exactitud y ha disminuido las modificaciones posteriores.

Se elaboró un cuadro comparativo con los hallazgos más relevantes, incluyendo el tipo de procedimiento, tecnologías aplicadas, métodos de validación y resultados clínicos observados. Este análisis conjunto indica que la integración de software de realidad mixta y navegación digital dinámica constituye un avance tecnológico significativo que redefine los estándares de precisión, seguridad y personalización en odontología restauradora, aunque la necesidad de estudios clínicos a largo plazo para evaluar la durabilidad y costo-efectividad de estas tecnologías es evidente (Tabla 1).

**Tabla 1. Comparación de la eficacia de software de realidad mixta y navegación digital dinámica en odontología restauradora.**

<b>Estudio</b>	<b>Tipo de estudio</b>	<b>Procedimiento analizado</b>	<b>Tecnología aplicada</b>	<b>Resultados destacados</b>	<b>Observaciones adicionales</b>
Battista et al. (2022)	Estudio comparativo	Colocación de implantes maxilares	Navegación digital + realidad mixta	Precisión para colocación y mejora en satisfacción del paciente	Mayor precisión en el abordaje
Liu et al. (2023)	Estudio in vitro	Implantes dentales	Gafas realidad mixta + seguimiento dinámico	Seguimiento en tiempo real y visualización de la desviación intraoperatoria	Mayor precisión en el abordaje manual
Ochandiano et al. (2022)	Estudio prospectivo	Rehabilitaciones con implantes dentales	Modelos 3D + navegación dinámica	Reducción del tiempo operatorio y mejora de la precisión	Aumento en eficiencia clínica
Alshargawi et al. (2024)	Revisión sistemática	Procedimientos restauradores complejos	Navegación digital + realidad mixta	Disminución de complicaciones postoperatorias	Mejor experiencia del paciente
Shusterman et al. (2024)	Estudio de caso	Restauraciones complejas	IA + realidad mixta + navegación dinámica	Colocación de implantes guiados, aumento en seguridad y precisión	Personalización avanzada
Meto & Halilaj (2025)	Revisión sistemática	Procedimientos restauradores complejos	Modelos 3D + navegación dinámica	Mejora precisión diagnóstica; reduce exposición a radiaciones	Aumento en eficiencia clínica

Los resultados muestran que la realidad mixta, junto con una navegación digital dinámica, proporciona ventajas significativas en cuanto a la precisión, la seguridad, la eficiencia y la personalización de los procedimientos complejos de restauración. Sin embargo, se han detectado lagunas en términos de evaluaciones económicas sólidas y evidencia longitudinal, lo que sugiere la necesidad de realizar investigaciones futuras para confirmar su efecto a largo plazo y promover su adopción clínica a gran escala.

Se puede analizar que el impacto de la integración de software de realidad mixta y navegación digital dinámica en la educación y formación odontológica ha sido notable en la última década. Estas tecnologías inmersivas permiten que los estudiantes y profesionales practiquen procedimientos restauradores complejos en entornos simulados con una precisión y realismo sin precedentes. Las plataformas de realidad mixta, combinadas con la navegación en tiempo real, facilitan la visualización de las técnicas desde múltiples ángulos y la retroalimentación inmediata sobre la ejecución, permite corregir errores y mejorar la destreza manual antes de realizar intervenciones clínicas reales (González et al., 2024). Investigaciones cuantitativas han demostrado que este tipo de entrenamiento reduce la curva de aprendizaje, incrementa la confianza del operador y mejora la calidad técnica de las restauraciones realizadas posteriormente. La capacidad para replicar escenarios clínicos complejos sin riesgos para el paciente representa un avance pedagógico que está revolucionando la formación en odontología restauradora.

El desarrollo de interfaces intuitivas y la mejora en la integración de software de realidad mixta con sistemas de navegación digital dinámica han incrementado la accesibilidad y utilidad clínica de estas tecnologías en odontología restauradora. El diseño de estas plataformas ha priorizado la facilidad de uso para que clínicos de distintos niveles de experiencia puedan beneficiarse de la precisión y visualización avanzada sin necesidad de una formación tecnológica extensa. Estudios recientes describen cómo estas soluciones facilitan la planificación tridimensional detallada y el guiado preciso durante la preparación de cavidades, la colocación de implantes y la adaptación de restauraciones indirectas, reduciendo significativamente las tasas de error y la necesidad de ajustes posteriores. La interfaz permite la visualización simultánea de datos anatómicos, guías quirúrgicas virtuales y el monitoreo dinámico del instrumento, promoviendo una intervención más controlada, segura y personalizada. Además, el sistema de navegación basado demostró buena viabilidad, precisión y usabilidad para procedimientos. Su bajo costo, diseño no invasivo y flexibilidad lo convierten en una prometedora herramienta de guía quirúrgica inteligente para la práctica clínica habitual, especialmente en la atención primaria (Shi et al., 2025).

El análisis de resultados clínicos asociados a la integración de software de realidad mixta y navegación digital dinámica en procedimientos restauradores complejos revela un impacto positivo en la durabilidad y funcionalidad de las restauraciones. Investigaciones cuantitativas reportan una mejora sustancial en la adaptación marginal y en la estabilidad postoperatoria de restauraciones indirectas, disminuyendo la incidencia de fallos prematuros como fracturas o filtraciones. Además, la precisión en la colocación de postes intrarradiculares y en la preparación cavitaria guiada por estas tecnologías minimiza el desgaste de tejido dental sano, aspecto fundamental

para preservar la vitalidad pulpar y evitar complicaciones a largo plazo. Los estudios también señalan una reducción en la frecuencia de retratamientos, lo que no solo mejora la experiencia del paciente, sino que también optimiza los costos clínicos. Las aplicaciones son particularmente ventajosas en odontología, a pesar de algunas limitaciones (Ahmad et al., 2024).

La implementación clínica de navegación digital dinámica combinada con software de realidad mixta en la colocación de implantes dentales ha sido uno de los avances tecnológicos más significativos en odontología restauradora. Esta integración tecnológica ha demostrado mejorar de forma considerable la precisión en la ubicación tridimensional de los implantes respecto a estructuras anatómicas críticas, lo que disminuye el riesgo de complicaciones postoperatorias como la lesión nerviosa o la perforación sinusal. Los estudios recientes muestran que esta precisión redundante en un aumento en la tasa de éxito implantológico y en la estabilidad primaria, elementos esenciales para la osteointegración y la funcionalidad a largo plazo. Además, el guiado en tiempo real facilita la corrección inmediata de desviaciones, optimizando la adherencia al plan quirúrgico y reduciendo el tiempo quirúrgico (Contardo et al., 2022).

La evaluación de la ergonomía y bienestar del operador durante procedimientos restauradores complejos asistidos por software de realidad mixta y navegación digital dinámica ha sido un aspecto poco explorado pero fundamental en la adopción clínica de estas tecnologías. Estudios recientes destacan que la visualización directa y la retroalimentación en tiempo real reducen la necesidad de movimientos oculares y posturales forzados, lo que disminuye la fatiga visual y muscular. Esto es especialmente relevante en intervenciones prolongadas o con altos niveles de precisión, donde el cansancio puede afectar negativamente la calidad del trabajo. La mejora en la ergonomía contribuye a mantener un nivel constante de concentración y destreza durante todo el procedimiento, favoreciendo resultados clínicos más predecibles y seguros (Vassallo et al., 2025).

El impacto de la realidad mixta integrada con navegación digital dinámica en la gestión del paciente durante procedimientos restauradores complejos trasciende la técnica para incluir aspectos psicológicos y comunicacionales. Al mostrar modelos 3D en tiempo real y visualizaciones inmersivas, estas tecnologías facilitan la comunicación con el paciente, aumentando su comprensión del procedimiento y reduciendo la ansiedad preoperatoria. Estudios recientes indican que los pacientes que experimentan esta modalidad de atención muestran mayor confianza, cooperación y adherencia a las indicaciones postoperatorias, lo que favorece la recuperación y el éxito del tratamiento. Esta dimensión de humanización clínica representa un valor añadido de la tecnología, alineada con las tendencias actuales hacia una odontología centrada

en el paciente y basada en la experiencia (Wintergerst & Lopez, 2023).

El análisis crítico de la literatura revela que, a pesar de los beneficios evidentes de integrar software de realidad mixta con navegación digital dinámica, existen desafíos técnicos y operativos que limitan su adopción masiva. Entre ellos destacan la necesidad de altos costos iniciales, la curva de aprendizaje tecnológica y la dependencia de infraestructuras digitales avanzadas. Sin embargo, la continua evolución de estas plataformas está promoviendo soluciones más accesibles y amigables, con mejoras en la interoperabilidad y reducción de errores de calibración. La investigación en curso se centra en superar estas barreras mediante desarrollos que faciliten la integración clínica sin comprometer la precisión o seguridad, con el objetivo de democratizar el acceso a estas tecnologías y consolidar su rol en la odontología restauradora moderna (Liu et al., 2023).

La integración del software de realidad mixta con navegación digital dinámica representa un camino prometedor para la transformación digital de la odontología restauradora, orientada hacia tratamientos más seguros, precisos y personalizados. La evidencia científica actual confirma que esta sinergia tecnológica optimiza la planificación, ejecución y seguimiento de procedimientos complejos, facilitando la adaptación a las particularidades anatómicas y funcionales de cada paciente. Si bien se requieren estudios clínicos longitudinales que validen sus beneficios a largo plazo, las tendencias indican que estas herramientas serán cada vez más comunes en la práctica clínica, impulsando la innovación y elevando los estándares de calidad y eficiencia en odontología restauradora (Ulloa et al., 2024).

La capacidad de los sistemas de realidad mixta para integrarse con otras herramientas digitales, como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y el escaneo intraoral, ha potenciado aún más su aplicación en la odontología restauradora. Al combinar estos recursos, es posible crear modelos anatómicos digitales de alta resolución y precisión que se superponen sobre la imagen real durante el procedimiento. Esta combinación permite al operador evaluar en tiempo real las estructuras internas y externas, facilitando la toma de decisiones y la ejecución de técnicas restauradoras complejas con una precisión antes inalcanzable. Estudios recientes han mostrado que la fusión de estas tecnologías reduce la necesidad de intervenciones invasivas adicionales y mejora los resultados clínicos, incrementando la predictibilidad del tratamiento y reduciendo los costos asociados a retratamientos (Calatrava & Torres, 2022).

Los progresos en el desarrollo de hardware, incluidos dispositivos de realidad mixta con mayor definición visual y mecanismos de rastreo más precisos, han posibilitado una experiencia operativa más ágil y eficaz durante los tratamientos restauradores. La minimización del desfase

en la integración de imágenes virtuales y el perfeccionamiento en la interpretación del espacio circundante han sido factores determinantes para mejorar la interacción del profesional con los elementos digitales. Estas innovaciones han permitido que intervenciones complejas, que anteriormente dependían de varias plantillas físicas o incluso de métodos invasivos para verificar la exactitud, puedan ejecutarse ahora mediante supervisión activa y modificaciones instantáneas, lo que eleva los niveles de seguridad y disminuye las complicaciones asociadas. Estudios recientes subrayan que estos avances técnicos están impulsando una implementación clínica más amplia y la consolidación de procedimientos normalizados fundamentados en la realidad mixta y los sistemas de navegación en tiempo real.

La evaluación de la precisión en la adaptación marginal de restauraciones indirectas mediante el uso combinado de realidad mixta y navegación digital dinámica ha sido un foco creciente de investigación cuantitativa. Estos estudios han documentado que la capacidad para visualizar y corregir en tiempo real las desviaciones durante la colocación de coronas, carillas y puentes permite obtener un sellado más hermético, lo que reduce significativamente la infiltración bacteriana y, por ende, el riesgo de caries secundaria y fracaso restaurador. Además, el seguimiento digital continuo posibilita una mejor armonía oclusal, evitando contactos prematuros y desgaste prematuro de las superficies dentales, factores que contribuyen a la longevidad del tratamiento (Tallarico, 2025).

La gestión del tiempo quirúrgico y clínico ha mejorado considerablemente con la integración del software de realidad mixta y navegación digital dinámica. Estudios descriptivos y cuantitativos indican que la planificación tridimensional avanzada y el monitoreo en tiempo real permiten anticipar dificultades anatómicas y ajustar la estrategia quirúrgica durante el procedimiento, lo que reduce la duración total de la intervención. Esta eficiencia tiene un impacto directo en la comodidad del paciente, minimizando la exposición prolongada a procedimientos y la fatiga del operador. Además, una mayor rapidez sin sacrificar la precisión contribuye a optimizar el flujo de trabajo en las clínicas dentales y hospitales, mejorando la rentabilidad y accesibilidad de tratamientos restauradores complejos (Ochandiano et al., 2022).

La combinación de realidad mixta y navegación digital dinámica no solo ha beneficiado procedimientos restauradores convencionales, sino que también ha potenciado intervenciones mínimamente invasivas, permitiendo a los odontólogos conservar mayor cantidad de tejido dental y periodontal sano. Esta preservación se traduce en mejores resultados funcionales y estéticos, así como en una reducción del riesgo de complicaciones a largo plazo. Los sistemas de guiado proporcionan alertas visuales y auditivas que evitan extracciones o preparaciones excesivas, aumentando la seguridad durante el manejo de

dientes con anatomías complejas o previamente comprometidas. Estudios recientes cuantitativos destacan que estos sistemas minimizan significativamente la agresividad del tratamiento y mejoran la percepción del paciente sobre la intervención (Farronato et al., 2023).

El examen de la evolución en la adquisición de habilidades para el manejo eficaz de aplicaciones de realidad mixta integradas con sistemas de navegación digital en tiempo real indica que, a pesar de una etapa introductoria que puede presentar desafíos, la implementación de programas formativos organizados y la práctica sostenida facilitan una asimilación acelerada y una competencia clínica sólida. La evidencia científica demuestra que, tras franquear el período de familiarización inicial, los especialistas logran una disminución notable en los fallos técnicos durante los procedimientos, junto con un aumento en la seguridad personal y la pericia para resolver situaciones reconstructivas de alta complejidad. Además, la incorporación de simuladores de realidad mixta para entrenamiento previo acelera esta curva, facilitando la adopción clínica de estas tecnologías incluso en entornos con limitaciones de tiempo y recursos.

La interoperabilidad entre diferentes plataformas digitales y la integración de software de realidad mixta con sistemas CAD/CAM han permitido optimizar la fabricación y adaptación de restauraciones protésicas. Los datos obtenidos durante la planificación y navegación dinámica se utilizan para diseñar restauraciones que se ajustan perfectamente a la anatomía del paciente, mejorando la precisión y reduciendo la necesidad de ajustes posteriores. Esta sinergia tecnológica permite una fabricación rápida y eficiente, favoreciendo la implementación de flujos de trabajo digitales completos que mejoran la experiencia del paciente y reducen los tiempos de entrega clínica (Algahuli et al., 2025).

Los beneficios en la reducción de complicaciones postoperatorias derivadas del uso conjunto de realidad mixta y navegación digital dinámica están bien documentados. Estudios cuantitativos destacan que estas tecnologías reducen la incidencia de inflamación, dolor y edema, así como la probabilidad de fracturas iatrogénicas y retratamientos, factores que contribuyen a una mejor experiencia y recuperación del paciente. La precisión en la ejecución también disminuye el riesgo de daño a estructuras adyacentes, como nervios o tejidos blandos, lo que mejora la calidad de vida postoperatoria y reduce los costos asociados a complicaciones (Alshargawi et al., 2024).

La personalización de tratamientos restauradores complejos mediante la integración de software de realidad mixta y navegación digital dinámica ha demostrado ser una herramienta esencial para mejorar la estética dental. Esta tecnología permite evaluar y ajustar en tiempo real la forma, color y posición de las restauraciones, considerando las características anatómicas y funcionales individuales. El análisis tridimensional facilita la simulación

de resultados estéticos y funcionales, lo que favorece la comunicación con el paciente y la toma de decisiones compartida. La evidencia actual indica que esta personalización contribuye a resultados más naturales y duraderos, incrementando la satisfacción y calidad de vida del paciente (Battista et al., 2022).

El papel de la inteligencia artificial combinada con software de realidad mixta y navegación digital dinámica está emergiendo como un elemento clave para optimizar los procedimientos restauradores complejos. La IA facilita el análisis predictivo y la personalización avanzada del tratamiento, ajustando los planes clínicos en función de variables anatómicas, funcionales y de comportamiento del paciente. Esta integración permite una adaptación dinámica y continua durante el procedimiento, aumentando la precisión y reduciendo el riesgo de fallos. Investigaciones recientes resaltan que el uso combinado de estas tecnologías tiene el potencial de revolucionar la odontología restauradora, impulsando una transición hacia tratamientos más inteligentes, automatizados y personalizados (Shusterman et al., 2024).

La evaluación de la seguridad y fiabilidad de los sistemas de realidad mixta y navegación digital dinámica ha sido un foco central en la literatura reciente. La evidencia científica confirma que estas plataformas incorporan procesos sofisticados de ajuste y supervisión continua, los cuales aseguran una exactitud operativa y minimizan el riesgo de interrupciones o errores durante las intervenciones reconstructivas. Complementariamente, la adopción sistemática de procedimientos de verificación y de rutinas de mantenimiento proactivo preserva la estabilidad funcional y la eficacia a largo plazo. Esta solidez técnica constituye un pilar indispensable para la validación por parte de la comunidad médica y para la implementación a gran escala de dichas innovaciones, garantizando así la permanencia de las ventajas en términos de precisión y protección para los pacientes.

El análisis económico del impacto de la implementación de software de realidad mixta y navegación digital dinámica en clínicas dentales ha evidenciado una relación costo-beneficio favorable a mediano y largo plazo. Aunque la inversión inicial en equipos y capacitación puede ser elevada, la reducción en tiempos de tratamiento, errores operatorios y retratamientos contribuye a una optimización de recursos y una mayor rentabilidad clínica. Estudios descriptivos cuantitativos han mostrado que la mejora en la eficiencia operativa y la satisfacción del paciente incrementan la demanda y reputación clínica, factores que potencian el retorno de inversión. Esta evaluación económica es fundamental para incentivar la adopción tecnológica en entornos clínicos diversos (Liu et al., 2023).

La integración de software de realidad mixta con navegación digital dinámica ha sido aplicada también en el manejo de casos restauradores en pacientes con patologías

sistémicas, donde la precisión y minimización del trauma operatorio son críticos. Los pacientes con mayor riesgo clínico se benefician significativamente de técnicas menos invasivas y de alta precisión. Estudios confirman que estas tecnologías reducen la inflamación, previenen lesiones no deseadas y aceleran la recuperación, mejorando la calidad de vida y disminuyendo rehospitalizaciones. Esto evidencia la importancia de la innovación tecnológica para una atención segura y personalizada en poblaciones vulnerables.

Los protocolos de control de calidad y calibración en sistemas de realidad mixta y navegación digital dinámica son fundamentales para garantizar la repetibilidad y reproducibilidad de los resultados clínicos. Investigaciones técnicas actuales han establecido procedimientos estandarizados para medir la exactitud del alineamiento virtual y su concordancia con la anatomía real. Dichos protocolos incorporan verificaciones cíclicas, corrección automatizada de desviaciones y monitoreo continuo del rendimiento, garantizando que cualquier variación se mantenga en márgenes clínicamente seguros. La aplicación estricta de estas normas ha sido fundamental para lograr resultados consistentes en intervenciones reconstructivas de alta complejidad y para la homologación de equipos médicos especializados.

La percepción del paciente frente a la utilización de tecnologías avanzadas como la realidad mixta y la navegación digital dinámica en odontología restauradora es un área emergente de investigación que ha arrojado resultados positivos. Encuestas y estudios cualitativos indican que la mayoría de los pacientes valoran positivamente la transparencia que estas tecnologías proporcionan durante el procedimiento, aumentando su confianza y satisfacción. La capacidad de observar el procedimiento en directo y entender claramente cada etapa del tratamiento ayuda a disminuir el estrés del paciente y favorece su compromiso con las indicaciones posteriores a la cirugía, lo que repercute positivamente en su evolución médica. Este componente humano y de comunicación es imprescindible para que la tecnología innovadora sea bien recibida y eficaz en el entorno asistencial cotidiano.

La aplicación de software de realidad mixta integrada con navegación digital dinámica ha permitido innovaciones significativas en la planificación digital de casos complejos que involucran rehabilitaciones completas de arcadas dentales. La creación de modelos virtuales precisos que contemplan la función masticatoria, la oclusión dinámica y la estética facial ha sido posible gracias a estas tecnologías, las cuales permiten simular diferentes escenarios y predecir resultados clínicos antes de la intervención. Estas capacidades mejoran la toma de decisiones y facilitan la comunicación interdisciplinaria, optimizando el plan de tratamiento y reduciendo la incertidumbre inherente a procedimientos de alta complejidad (Todaro et al., 2023).

Los procedimientos restauradores guiados por realidad mixta y navegación digital dinámica han demostrado ser especialmente útiles en odontología reconstructiva post-traumática, donde la complejidad anatómica y funcional es elevada. La precisión y visualización avanzada permiten planificar y ejecutar restauraciones que restauran la función masticatoria y la estética facial con altos estándares, incluso en casos con pérdida ósea o compromiso periodontal severo. Las investigaciones actuales muestran mayor disminución en las complicaciones y se evidencia una mejora significativa en la calidad de vida de los pacientes que han sido tratados con estas tecnologías, lo que evidencia su valor en contextos clínicos complejos.

## CONCLUSIONES

La revisión sistemática evidencia que la integración de software de realidad mixta con navegación digital dinámica representa un avance significativo en los procedimientos restauradores complejos. Estas tecnologías permiten una mayor precisión, control visual en tiempo real y preservación de estructuras dentales, mejorando la calidad y durabilidad de las restauraciones. La superposición de imágenes tridimensionales y el seguimiento continuo de los instrumentos optimizan la ejecución clínica y reducen los errores operatorios.

La combinación de realidad mixta y navegación digital dinámica también favorece la personalización del tratamiento, facilitando la comunicación entre paciente y clínico y aumenta la eficiencia operativa. A pesar de los beneficios claros, se identifican desafíos relacionados con la curva de aprendizaje, los costos tecnológicos y la necesidad de estandarización de protocolos para garantizar resultados reproducibles en diferentes contextos clínicos.

Aunque las evidencias actuales son prometedoras, se requiere la realización de estudios longitudinales que validen el impacto a largo plazo de estas tecnologías en la salud bucal y la longevidad de las restauraciones. Además, la capacitación continua y la actualización tecnológica serán clave para maximizar los beneficios y asegurar una práctica odontológica segura, precisa y centrada en el paciente.

## REFERENCIAS

- Ahmad, F., Ahmad, W., Xiong, J., & Xia, Z. (2024). AR and MR in Dentistry: Developments, Applications, and Prospects. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 7(1), 171-188. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10759859>
- Alghauli, M. A., Aljohani, W., Almutairi, S., Aljohani, R., & Alqutaibi, A.Y. (2025). Advancements in digital data acquisition and CAD technology in Dentistry: Innovation, clinical Impact, and promising integration of artificial intelligence. *Clinical eHealth*, 8, 32-52. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588914125000115>

- Alshargawi, W., Toras, F., Almutairi, W., Fatiny, F., Alhabashi, Y., Alyahya, F., ... & Almalki, S. (2024). The Use of Digital Technologies in Endodontic Diagnosis and Restorative Planning. *Journal of healthcare sciences*, 4(3), 154-161. [https://www.johs.com.sa/admin/public/uploads/187/267\\_pdf.pdf](https://www.johs.com.sa/admin/public/uploads/187/267_pdf.pdf)
- Battista, E., Gasparro, R., Cacciola, M., Sammartino, G., & Marenzi, G. (2022). Dynamic navigation system for immediate implant placement in the maxillary aesthetic region. *Applied Sciences*, 12(11), 5510. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/11/5510>
- Calatrava, L., & Torres, J. (2022). Fabricación asistida por computadora en odontología restauradora, estado actual y perspectivas futuras: una revisión narrativa. *Revista de Operatoria Dental y Biomateriales*, 11(3), 12-19. <https://www.rodyb.com/wp-content/uploads/2022/09/2-fabricacion-asistida-pdf>
- Contardo, M. S., Arias, A. M., & Castro, R. J. (2022). Sistema de navegación dinámica asistida por computadora como auxiliar en el abordaje de canales de difícil acceso endodóntico. *Computer-assisted*; 45, 12-18. <https://www.canalabierto.cl/storage/articles/April2022/g1DmmwvDH1cQAdolcEii.pdf>
- Farronato, M., Torres, A., Pedano, M. S., & Jacobs, R. (2023). Novel method for augmented reality guided endodontics: an in vitro study. *Journal of dentistry*, 132, 104476. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104476>
- González, H., Moreno, Y., & D'Andrea, M. (2024). Realidad virtual inmersiva como complemento en la educación odontológica: un proceso de implementación para la docencia. *Educación médica*, 25(5), 100931. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2024.100931>
- Liu, L., Wang, X., Guan, M., Fan, Y., Yang, Z., Li, D., ... & Li, H. (2023). A mixed reality-based navigation method for dental implant navigation method: a pilot study. *Computers in Biology and Medicine*, 154, 106568. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2023.106568>
- Metó, A., & Halilaj, G. (2025). The Integration of Cone Beam Computed Tomography, Artificial Intelligence, Augmented Reality, and Virtual Reality in Dental Diagnostics, Surgical Planning, and Education: A Narrative Review. *Applied Sciences*, 15(11), 6308. <https://doi.org/10.3390/app15116308>
- Ochandiano, S., García-Mato, D., Gonzalez-Alvarez, A., Moreta-Martinez, R., Tousidonis, M., Navarro-Cuellar, C., Navarro-Cuellar, I., Salmerón, J. I., & Pascau, J. (2022). Computer-assisted dental implant placement following free flap reconstruction: Virtual planning, CAD/CAM templates, dynamic navigation and augmented reality. *Frontiers in Oncology*, 11, 754943. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.754943>
- Shi, Z., Li, T., Ke, J., Li, J., Gao, X., Zhang, X., ... & Wang, Z. (2025). A portable mixed reality navigation system for oral and maxillofacial surgery: Design and preliminary clinical evaluation. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 53(12), 2230-2237. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2025.10.007>
- Shusterman, A., Nashef, R., Tecco, S., Mangano, C., Lerner, H., & Mangano, F. G. (2024). Accuracy of implant placement using a mixed reality-based dynamic navigation system versus static computer-assisted and freehand surgery: An in Vitro study. *Clinical Oral Investigations*, 146, 105052. <https://doi.org/10.1016/j.ident.2024.105052>
- Tallarico, M. (2025). Digitalización y Flujo de Trabajo Digital en Medicina: Enfoque en Odontología Digital. *Compartir*, 426(23). <https://es.ohi-s.com/articles-videos/5112/>
- Todaro, C., Cerri, M., Rodriguez Y Baena, R., & Lupi, S. M. (2023). Full-Arch Guided Restoration and Bone Regeneration: A Complete Digital Workflow Case Report. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 11(9), 1301. <https://doi.org/10.3390/healthcare11091301>
- Ulloa, A. C., Urgiles, D., Freire, J. E., & Bravo, M. E. (2024). Eficiencia operativa en clínicas dentales: revisión de la literatura. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar*, 5(7), e575528-e575528. <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i7.5528>
- Vassallo, M., Fernández, D., Ordaz, K., Molina, Y., & Bravo, S. (2025). Ergonomía del cirujano en el quirófano: Surgeon's ergonomics in the operating room. *Gaceta Médica de Caracas*, 133(4), 1190-1197. [https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_gmc/article/view/31709](https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_gmc/article/view/31709)
- Wang, X., Guan, M., Liu, L., Xu, R., Yang, Z., Liu, Z., Liu, D., Tang, C., Wen, N., & Li, H. (2025). The impact of mixed reality training method on novice trainees of dental implants: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1), 1379. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06366-8>
- Wintergerst, A. M., & Lopez, M. E. (2023). Un cambio en el enfoque de la investigación clínica odontológica centrada en el paciente. *Revista Salud y Bienestar social*, 7(1), 44-50. <https://doi.org/10.32776/saludybienestarsoc.v7i1.134>
- Yang, R., Li, C., Tu, P., Ahmed, A., Ji, T., & Chen, X. (2022). Development and application of digital maxillofacial surgery system based on mixed reality technology. *Frontiers in Surgery*, 8, 719985. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.719985>

**Conflictos de interés:**

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

**Contribución de los autores:**

Luis Orlando Albarracin-Zambrano, Damarys Vanessa Muñoz-Briones, Lourdes Elizabeth Menéndez-Oña: Concepción y diseño del estudio, adquisición de datos, análisis e interpretación, redacción del manuscrito, revisión crítica del contenido, análisis estadístico, supervisión general del estudio.

**Declaración ética:**

El estudio aborda temas relacionados con estudiantes/ personas vulnerables, pero se realizó únicamente mediante revisión documental, análisis de información secundaria o bases de datos públicas. No implicó la participación directa de seres humanos ni el manejo de información personal identificable.