

# Avances en osteotomía y apicectomía guiada: una revisión narrativa de las tecnologías emergentes en microcirugía endodóntica

## *Advances in Guided Osteotomy and Apicoectomy: A Narrative Review of Emerging Technologies in Endodontic Microsurgery*

DOI: <https://doi.org/10.37883/AOV/v59-2-2025-15>

Disponible en [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_aov](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aov)

Recepción de trabajo: 08/02/2025

Inicio de arbitraje: 26/02/2025

Aprobado: 08/07/2025

González-Graterol Isis <sup>1</sup>, Goncalves-Pereira J <sup>2</sup>,

Jiménez-Rojas L F <sup>3</sup>

1. Estudiante Especialidad de Endodoncia. Facultad de Odontología. Universidad Central de Venezuela

2. Departamento de Endodoncia. Facultad de Odontología. Universidad Central de Venezuela.

3. Departamento de Endodoncia. Facultad de Odontología. Universidad Central de Venezuela.

1. Gonzalez-Graterol Isis. Odontólogo Universidad Central de Venezuela (UCV). Estudiante Especialidad de Endodoncia. Facultad de Odontología. Universidad Central de Venezuela. Correo electrónico: [isis95\\_gg@hotmail.com](mailto:isis95_gg@hotmail.com) ORCID 0009-0004-6099-7233

2. Goncalves-Pereira Juan. Odontólogo Universidad Central de Venezuela (UCV). Especialista en Endodoncia UCV. Doctorando en Odontología UCV. Correo electrónico: [jgoncalvesp@gmail.com](mailto:jgoncalvesp@gmail.com) ORCID 0009-0007-6404-4415

3. Jiménez-Rojas Luis Felipe. Odontólogo Universidad Central de Venezuela (UCV). Especialista en Endodoncia UCV. Magister Scientarium en Odontología UCV. Magister Scientarium en Odontología, área de concentración en Endodoncia, Universidad Grande de Rio de Janeiro, UNIGRANRIO, Brasil. Correo electrónico:

[luisfelipejimenezrojas@gmail.com](mailto:luisfelipejimenezrojas@gmail.com) ORCID 0009-0005-2312-9370

**Autor de correspondencia:** Luis Felipe Jiménez-Rojas. Dirección: Ciudad Universitaria de Caracas, Facultad de Odontología. Cátedra de Endodoncia. Los Chaguaramos, Caracas. Teléfono +58 414 2570785. Correo electrónico: [luisfelipejimenezrojas@gmail.com](mailto:luisfelipejimenezrojas@gmail.com).

## CONSIDERACIONES BIOÉTICAS

No aplica.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no presentar conflictos de interés en la realización y publicación del presente estudio. En virtud de que el editor de la revista Acta Odontológica Venezolana figura como autor de esta investigación, la gestión editorial del manuscrito fue encomendada a otro miembro del comité editorial, asegurando así la integridad y transparencia de todas las etapas del proceso de evaluación y publicación.

## RESUMEN

La cirugía endodóntica es una alternativa clave para abordar patologías perirradiculares persistentes cuando los tratamientos convencionales no son viables. **Objetivo** evaluar los avances tecnológicos, materiales, software y equipos empleados en la osteotomía y apicectomía guiada en microcirugía endodóntica en la literatura reciente, con énfasis en la precisión, éxito clínico y reducción de complicaciones, identificando tendencias emergentes y su impacto en los resultados clínicos. **Materiales y Métodos** Se realizó una búsqueda en la base de datos PubMed/MedLine de la U.S. National Library of Medicine y Google Scholar para acceder a publicaciones arbitradas no disponibles en texto completo en PubMed entre septiembre a noviembre de 2024. **Resultados** se incluyeron 16 artículos que proporcionaron información clave sobre las técnicas emergentes y los

avances tecnológicos. **Discusión** El uso de tomografía computarizada de haz cónico, guías quirúrgicas personalizadas y sistemas CAD/CAM, que han transformado la planificación y ejecución de estas cirugías al permitir una mayor precisión y predictibilidad. La integración de la tomografía con software especializado facilita la fabricación de guías quirúrgicas mediante impresión 3D, mejorando la eficacia y reduciendo las complicaciones asociadas a los métodos tradicionales. Los sistemas de navegación dinámica y cirugía robótica asistida, así como dispositivos como los piezoelectrónicos, sumado al empleo de láseres de erbio, combinados con guías estáticas, facilitan una resección apical precisa y favorecen la regeneración ósea, reduciendo el trauma quirúrgico.

**Conclusión** Estos avances han convertido la microcirugía endodóntica en un procedimiento más eficiente y seguro, proporcionando mejores resultados clínicos. Esta revisión subraya el impacto de la digitalización y la innovación en la práctica clínica moderna, con miras a un futuro más preciso y menos invasivo en el ámbito de la endodoncia quirúrgica.

**Palabras Clave** apicectomía, osteotomía, microcirugía, cirugía guiada por imagen e imagenología tridimensional.

## SUMMARY

Endodontic surgery is a key alternative to address persistent periradicular pathologies when conventional treatments are not viable. **Objective** to evaluate the technological advances, materials, software and equipment used in osteotomy and guided apicoectomy in endodontic microsurgery in recent literature, with emphasis on precision, clinical success and reduction of complications, identifying emerging trends and their impact on clinical results. **Materials and Methods** A search was performed in the U.S. PubMed/MedLine database. National Library of Medicine and Google Scholar

to access peer-reviewed publications not available in full text in PubMed between September to November 2024. **Results** 16 articles were included that provided key information on emerging techniques and technological advances. **Discussion** The use of cone beam computed tomography, customized surgical guides and CAD/CAM systems, which have transformed the planning and execution of these surgeries by allowing greater precision and predictability. The integration of tomography with specialized software facilitates the manufacture of surgical guides using 3D printing, improving efficiency and reducing complications associated with traditional methods. Dynamic navigation systems and robotic-assisted surgery, as well as devices such as piezoelectrics, added to the use of erbium lasers, combined with static guides, facilitate precise apical resection and promote bone regeneration, reducing surgical trauma. **Conclusion** These advances have made endodontic microsurgery a more efficient and safer procedure, providing better clinical results. This review highlights the impact of digitalization and innovation on modern clinical practice, with a view to a more precise and less invasive future in the field of surgical endodontics.

**Keywords** apicoectomy, osteotomy, microsurgery, Image-guided surgery and three-dimensional imaging.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de conductos tiene como objetivo principal la desinfección del sistema de conductos radiculares (SCR), seguida de la obturación tridimensional para prevenir la recontaminación del espacio pulpar<sup>1</sup>. Generalmente, el tratamiento endodóntico no quirúrgico es la primera opción en la mayoría de los casos; sin embargo, un abordaje quirúrgico puede ser necesario cuando la patología periradicular no puede resolverse mediante métodos no quirúrgicos<sup>2</sup>.

La tasa de éxito de la cirugía endodóntica convencional varía entre el 43,5% y el 74% <sup>3</sup>. No obstante, los avances tecnológicos recientes, como el uso de microscopio operatorio, tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), instrumentos microquirúrgicos, materiales de obturación biocompatibles, diseño asistido por computadora (CAD/CAM) y tecnología de impresión tridimensional, han permitido alcanzar tasas de éxito predecibles que oscilan entre el 88,9% y el 100% <sup>4</sup>.

La apicectomía es un procedimiento rutinario en la microcirugía endodóntica que consiste en la resección de los 3 mm apicales de la raíz. Este enfoque permite eliminar más del 90% de las ramificaciones y conductos laterales <sup>5,6</sup>, lo que mejora significativamente el éxito del tratamiento. Se recomienda realizar la resección de forma perpendicular al eje largo de la raíz para minimizar el riesgo de microfiltración bacteriana a través de los túbulos dentinarios <sup>7,8</sup>. Este procedimiento está indicado en casos donde el tratamiento convencional de un diente comprometido endodónticamente no es viable, como cuando existen ramificaciones inaccesibles a través de la instrumentación ortograde convencional <sup>4</sup>.

La técnica convencional de apicectomía, basada en un mapa mental y el uso de piezas de mano, presenta limitaciones significativas debido a la alta dependencia de la habilidad del operador y la dificultad para garantizar precisión en la remoción de la porción apical <sup>9</sup>. La incorporación del CBCT ha transformado este procedimiento al proporcionar imágenes tridimensionales detalladas de las estructuras anatómicas y facilitar una planificación quirúrgica precisa <sup>10</sup>.

En este contexto, el Flujo Digital de Endodoncia Guiada (FDEG) aplica una metodología inspirada en la implantología para procedimientos quirúrgicos guiados. Este enfoque comienza asegurando que el paciente cuente con un examen CBCT de la región de interés y un modelo digital de su arcada dental. Estos insumos permiten generar los archivos DICOM, que contienen imágenes volumétricas y STL, que representan modelos tridimensionales de la arcada. La planificación de la guía endodóntica es llevada a cabo por centros especializados o profesionales capacitados que emplean un software originalmente desarrollado para la colocación de implantes, adaptado específicamente para las necesidades de la endodoncia <sup>11</sup>.

La combinación de CBCT con guías quirúrgicas personalizadas, fabricadas mediante tecnología CAD/CAM, ha permitido realizar osteotomías y apicectomías de manera más precisa y controlada, reduciendo el riesgo de complicaciones y mejorando los resultados clínicos a largo plazo <sup>11-15</sup>.

El objetivo de esta investigación consiste en realizar una revisión narrativa actualizada de la literatura para evaluar los avances tecnológicos, materiales, software y equipos empleados en el procedimiento de osteotomía y apicectomía guiada en microcirugía endodóntica, durante los últimos 5 años, con énfasis en la precisión, el éxito clínico y la minimización de complicaciones, identificando tendencias emergentes y su impacto en los resultados clínicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva en la base de datos PubMed/MedLine de la U.S. National Library of Medicine entre septiembre y noviembre de 2024. Las palabras clave empleadas incluyeron: apicectomía, osteotomía, cirugía endodóntica, microcirugía endodóntica, guía quirúrgica e imagen 3D. Estas palabras clave se combinaron utilizando operadores booleanos (AND, OR y NOT) para abarcar publicaciones relevantes relacionadas con el tema.

Se consultó Google Scholar para acceder a publicaciones arbitradas no disponibles en texto completo en PubMed. Además, se revisaron las listas de referencias de los artículos seleccionados para identificar estudios adicionales que cumplieran con los criterios de inclusión.

### Criterios de inclusión

1. Estudios de caso, series de casos, revisiones narrativas, estudios clínicos controlados aleatorizados y metaanálisis que presentaran nuevas técnicas quirúrgicas endodónticas guiadas, particularmente relacionadas con osteotomías y apicectomías asistidas por guías personalizadas basadas en planificación mediante CBCT.

2. Estudios que analizaran aspectos como precisión quirúrgica, resultados clínicos, tiempo quirúrgico o complicaciones de las técnicas guiadas en comparación con los métodos tradicionales.

3. Publicaciones en inglés o español.

4. Artículos publicados en revistas revisadas por pares en los últimos 10 años.

### Criterios de exclusión

1. Publicaciones que no reportaran datos relevantes sobre los resultados primarios de interés, como tasas de éxito, complicaciones o precisión quirúrgica.
2. Resúmenes de congresos, cartas al editor o documentos con metodología insuficiente.
3. Artículos duplicados entre las bases de datos revisadas.

### SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS

La selección de artículos fue realizada por el autor, siguiendo un enfoque sistemático pero no orientado a una revisión sistemática. Se revisaron inicialmente los títulos y resúmenes para evaluar su relevancia en relación con el objetivo de esta revisión. Aquellos estudios que cumplían con los criterios de inclusión se seleccionaron para una lectura completa.

La selección final se basó en la pertinencia del contenido respecto a las técnicas quirúrgicas guiadas en apicectomías y osteotomías, así como en la calidad metodológica aparente de los estudios, aunque no se utilizó una herramienta de evaluación formal.

Los artículos seleccionados fueron analizados cuantitativamente para identificar hallazgos clave, tendencias en el uso de tecnologías avanzadas como CBCT y guías quirúrgicas, y sus implicaciones clínicas. Si bien esta revisión no tiene como objetivo proporcionar una síntesis cuantitativa, busca

ofrecer una visión comprensiva y crítica del tema basada en la literatura disponible.

## RESULTADOS

La revisión narrativa permitió identificar y analizar técnicas quirúrgicas guiadas en apicectomías y osteotomías a partir de una selección rigurosa de estudios recientes.

### 1. Resultados de la búsqueda bibliográfica

- La búsqueda inicial en PubMed, utilizando términos clave y operadores booleanos, identificó un total de 65 artículos.
- Al aplicar un filtro temporal que limitó la selección a los últimos diez años, el número de artículos se redujo a 32. De estos, se seleccionaron 13 estudios relevantes tras eliminar duplicidades y estudios que presentaban técnicas similares.
- En Google Scholar, se identificaron 3 artículos adicionales, seleccionados por describir técnicas innovadoras y su implementación mediante tecnologías avanzadas.

### 2. Análisis cualitativo de los estudios seleccionados

En total, se incluyeron 16 artículos que proporcionaron información clave sobre las técnicas emergentes y los avances tecnológicos en osteotomía y apicectomía guiada en microcirugía endodóntica. Tabla #1.

## DISCUSIÓN

La microcirugía endodóntica abarca procedimientos altamente especializados como la osteotomía y la apicectomía, que requieren la remoción precisa del hueso y la resección del extremo radicular para tratar afecciones periaípicales persistentes<sup>16</sup>. Autores enfatizan que el tamaño de la osteotomía es crucial para la cicatrización, recomendando que sea lo suficientemente pequeña para minimizar el impacto en los tejidos, pero adecuada para garantizar acceso del instrumental, eliminación de lesiones periaípicales y resección apical efectiva<sup>7,17</sup>. Tradicionalmente, estos procedimientos han sido desafiantes debido a la complejidad anatómica y la precisión que demandan, pero la incorporación de tecnologías avanzadas ha revolucionado su ejecución<sup>18</sup>.

Entre estas tecnologías, las guías quirúrgicas personalizadas<sup>19-21</sup> y los sistemas de navegación han reducido significativamente los riesgos, el tiempo quirúrgico y las complicaciones postoperatorias<sup>21,22</sup>. Giacomo et al. (2018) integraron por primera vez trépanos convencionales con guías estáticas, aunque estas herramientas presentaron limitaciones en cuanto a diseño y falta de tope de profundidad<sup>24</sup>. Posteriormente se introdujeron trépanos personalizados con diámetro uniforme y tope integrado, diseñados para funcionar con guías fabricadas mediante estereolitografía, mejorando la precisión en resecciones apicales y reduciendo riesgos de sobrepenetración<sup>25,26</sup>.

La navegación dinámica (DNS) ha emergido como una herramienta clave en la microcirugía endodóntica, permitiendo planificación y ajustes en tiempo real durante la cirugía. Este sistema com-

	Reddy et al. (2022)	Antal et al. (2020)	Torres et al. (2024)	Fernández-Grisales et al. (2023)	Isufi et al. (2024)	Lu et al. (2021)	Schmid et al. (2022)	Bosshard et al. (2023)
<b>Diseño de la guía</b>	Plantilla quirúrgica 3D impresa basada en archivos CBCT y STL, diseñada con software como Blue Sky Plan.	Guía quirúrgica estática fabricada con impresión 3D, utilizando imágenes CBCT integradas con software SMART Guide.	Guía quirúrgica diseñada en Blue Sky Plan considerando la ubicación anatómica, impresa en 3D, con una ventana quirúrgica personalizada.	Diseño digital integrado basado en CBCT con software integrado en el sistema Yomi; incluye guía háptica y monitoreo en tiempo real.	Planificación 3D basada en CBCT con software integrado en el sistema Yomi; incluye guía háptica y monitoreo en tiempo real.	Clip termoplástico en el arco opuesto al área quirúrgica. Planificación virtual con el sistema X-Guide basado en CBCT.	Diseño de plantilla personalizada y soportada en los dientes mediante CAD/CAM, fabricada con impresión 3D.	Realidad aumentada (RA) asistida con Microsoft HoloLens 2 y software SMOP para guías plantilla. Ambas tecnologías fueron evaluadas en un diseño cruzado con mandíbulas de cerdo para comparar precisión angular y profundidad en apicoectomías.
<b>Instrumentos quirúrgicos</b>	Fresas quirúrgicas estándar y curetas para osteotomía y preparación retrógrada.	Trepano diseñado específicamente para resección apical, con diámetro uniforme y tope para evitar sobrepenetración.	Láser Er,Cr:YSGG para osteotomía, con parámetros específicos (longitud de fibra, potencia, frecuencia, proporción de aire/agua) y retropreparación ultrasónica.	Dispositivo piezoelectrónico con puntas especializadas (US1, UC1, US3).	Robot Yomi, trephine bur (diámetro 5 mm), sistema de irrigación y ultrasonido BK3-R.	Sistema de navegación dinámica X-Guide, trephine bur (5.5 mm), sensor Blue-OptiX, microscopio quirúrgico.	Bisturí de punch para la biopsia, trephine drill para la resección de la raíz y cureta afilada para la eliminación del tejido quístico.	Microsoft HoloLens 2 para navegación quirúrgica con dispositivos personalizados, guías impresas en 3D y plantillas perforadoras para precisión en la resección. Uso de bur estándar y sistemas de fijación para evitar movimientos.
<b>Procedimiento quirúrgico</b>	Reflejo de colgajo, acceso guiado a través de la plantilla para realizar osteotomía, resección apical de 3 mm y relleno retrógrado con MTA.	Acceso guiado mediante el trepano, resección y extracción del ápice en un solo paso, preparación retrógrada y cierre quirúrgico.	Osteotomía guiada por láser para minimizar vibraciones y calor, resección apical de 3 mm, retroobturación con material biocerámico y uso de membrana regenerativa.	Osteotomía y apicectomía guiada mediante técnica de ventana ósea modificada con dispositivo piezoelectrónico.	Cirugía endodóntica asistida por robot Yomi con guía háptica.	Navegación dinámica para apicectomía en una zona anatómicamente desafiante.	Apicectomía con acceso desde el paladar sin levantar un colgajo, guiado por una plantilla diseñada a partir de imágenes 3D.	Comparación entre apicoectomías asistidas por RA y guías plantilla. Las cirugías fueron realizadas en mandíbulas de cerdo fijadas. Incluyó navegación tridimensional, medición angular en tiempo real y validación con CBCT postquirúrgico para evaluar precisión.
<b>Ventajas principales</b>	Precisión aumentada, invasividad reducida, y menor riesgo de desviación ( $\leq 0.79$ mm).	Reducción del error humano, seguridad mejorada, precisión comparable a la implantología guiada.	Reducción de efectos adversos (calor, vibraciones), mayor precisión, mejor regeneración ósea, menos trauma y menor inflamación postoperatoria.	- Conserva la integridad del hueso cortical. - Procedimiento seguro y preciso cerca de estructuras críticas (como el nervio mentoniano).	- Alta precisión en la resección apical y la osteotomía. - Reducción de errores humanos. - Mejor visualización y guía en tiempo real.	- Localización precisa de los ápices radiculares. - Flexibilidad para ajustes en tiempo real. - No requiere guías quirúrgicas estáticas.	- Procedimiento mínimamente invasivo. - Menor morbilidad, mayor precisión, reducción en el tiempo quirúrgico, y menor riesgo de complicaciones postoperatorias.	Tanto RA como guías plantilla mostraron alta precisión angular y en profundidad (dentro de 2 mm de desviación). La RA ofrece una navegación dinámica, aunque requiere mejoras en tiempo de configuración y compensación de movimiento para ser viable clínicamente.
<b>Innovaciones destacadas</b>	Uso de plantillas para procedimientos endodónticos guiados en casos anatómicamente complejos.	Introducción de trepanos personalizados con tope para evitar riesgos asociados con instrumentos estándar, sistema estandarizado en desarrollo.	Uso de láser Erbio como alternativa precisa y menos invasiva frente a fresas y piezocirugía; evaluación cuantitativa de la regeneración ósea con CBCT.	Uso de dispositivos piezoelectrónicos para cortes precisos y seguros.	- Uso del sistema robótico Yomi para guiar y controlar la profundidad y orientación de la osteotomía. - Diseño y planificación tridimensionales basados en CBCT. - Procedimiento menos invasivo y mayor seguridad quirúrgica.	- Uso del sistema de navegación dinámica X-Guide para monitorización en tiempo real y planificación quirúrgica. - Creación simultánea de ventana ósea y resección apical. - Mejor acceso y precisión en áreas complejas	Uso de tecnología de planificación CAD/CAM y una plantilla quirúrgica 3D personalizada para realizar una apicectomía guiada sin colgajo, con acceso preciso y minimización de invasividad.	Primera aplicación de RA en apicoectomías, mostrando resultados comparables con guías tradicionales en términos de precisión. La RA puede ser una herramienta futura prometedora con avances en registro, tiempo de configuración y manejo de movimiento durante la cirugía.

	Strbacet al. (2017)	Ahn et al. (2018)	Giacomo et al. (2018)	Nagy et al. (2022)	Remschmidt et al. (2023)	Castillo et al. (2024)	Fernández et al (2023)	Zhao et al. (2023)
<b>Diseño de la guía</b>	Plantillas quirúrgicas impresas en 3D, diseñadas con software especializado. Esta planificación se realizó con la ayuda de clavos quirúrgicos.	Guías quirúrgicas CAD/CAM impresas en 3D. Incluyeron un pin de anclaje y un diseño preciso para minimizar la osteotomía.	Introducción de guías quirúrgicas 3D diseñadas para albergar fresas trefinas. La profundidad, diámetro y ángulo se predefinieron digitalmente para evitar dañar estructuras críticas.	Guía quirúrgica digital diseñada en un software especializado (SMARTGuide).	Sistema basado en HoloLens 2, que superpone datos CBCT en tiempo real sobre el paciente utilizando una interfaz de realidad aumentada para guiar el procedimiento	Guía anatómica personalizada creada con datos CBCT segmentados y 3D-imprimida con resina biocompatible, facilitando un manejo conservador del colgajo y precisión quirúrgica.	Se utilizó un software (Romexis) para integrar archivos DICOM (CBCT) y STL (escaneo intraoral) y crear una guía quirúrgica impresa en 3D.	Uso de tecnologías CAD/CAM para crear una guía quirúrgica 3D de metal, diseñada con base en datos CBCT y escaneos ópticos.
<b>Instrumentos quirúrgicos</b>	Instrumentos piezoeléctricos especializados, como sierras finas y puntas recubiertas de diamante.	Instrumentos piezoeléctricos, fresas de anclaje de 1.5 mm de diámetro y 20 mm de longitud, y retractores para proteger estructuras cercanas.	Fresas trefinas con refrigeración constante y ventanas de irrigación en las guías para evitar sobrecalentamiento. Instrumentos diseñados para extraer núcleos de hueso y tejido en procedimientos anatómicamente complejos.	Comparación entre trepanos convencionales y un trepano personalizado (endo-trephine) con control de profundidad. El diseño del trepano personalizado incluye un tope físico para prevenir sobrepenetración durante el procedimiento.	El sistema AR permite un control visual en 3D de la anatomía durante el procedimiento, eliminando la necesidad de plantillas físicas y mejorando la visibilidad intraoperatoria.	Piezoeléctrico y guía quirúrgica.	Dispositivo piezoeléctrico (Ultrasurgic Touch) con puntas específicas (US1L, US1R, UC1, etc.), microscopio operatorio, y herramientas de precisión como curetas, bisturí y material de retrorelleno (Bio-C Repair).	Guía quirúrgica de metal, fresa de carborundo TF11, material de retroobturación (iRoot BP).
<b>Procedimiento quirúrgico</b>	Planificación digital previa para osteotomías y resecciones apicales; cirugía guiada con plantillas 3D; retiro de material de cuerpo extraño; preparación retrógrada y sellado con MTA, minimizando el tiempo quirúrgico.	Usaron imágenes CBCT y modelos de yeso escaneados para planificar la osteotomía y la localización del ápice. Realizaron resección apical de 3 mm, preparación retrógrada y sellado con MTA, minimizando el tiempo quirúrgico.	Técnica "Targeted EMS" con trefina guiado para resección apical, biopsia y extracción de núcleo óseo en un solo paso. El enfoque permitió la preservación de estructuras como arterias, nervios y raíces fusionadas.	Realización de apicectomías guiadas en mandíbulas porcinas mediante CBCT y guías quirúrgicas personalizadas. Se evalúa la precisión de las perforaciones comparando las posiciones planificadas con las alcanzadas en la cirugía real.	Apicectomías en cabezas humanas embalsamadas utilizando CBCT para preparar modelos en 3D y guiar el procedimiento quirúrgico directamente en el campo visual del cirujano.	Apicectomía en un molar inferior mediante la técnica de ventana ósea cortical, incluyendo osteotomía, resección apical de 3 mm y obturación retrógrada, con un manejo guiado del colgajo conservador.	Técnica de "ventana ósea cortical modificada" para acceder al área quirúrgica sin dañar estructuras críticas. Incluyó anestesia, levantamiento de un colgajo, osteotomía guiada, apicoectomía, curetaje, retropreparación y retrorelleno, seguido por la reposición del bloque óseo como autoinjerto.	Uso de una guía quirúrgica 3D, colgajo mucoperióstico, exposición del ápice, resección apical guiada (3 mm), eliminación de tejido inflamatorio, retroobturación y sutura del colgajo.
<b>Ventajas principales</b>	Precisión en la cirugía, reducción de riesgos de daño a estructuras vitales, conservación del hueso y tejidos dentales, y tiempos quirúrgicos más cortos.	Minimiza la extensión de la osteotomía y reduce el tiempo quirúrgico, disminuyendo la inflamación posoperatoria y mejorando los resultados en casos de anatomía complicada.	Permite procedimientos en áreas anatómicamente complicadas con alta precisión y menores riesgos.	Mayor precisión global y en el control de profundidad, equiparando la precisión de la cirugía guiada por implantes dentales.	Mejora la precisión quirúrgica, reduce el tiempo de preparación, y elimina la necesidad de alternar la atención entre el paciente y una pantalla externa, optimizando la coordinación mano-ojo.	Localización inmediata del ápice y menor sangrado gracias a la precisión piezoeléctrica y el diseño compacto de la guía; facilita la colocación de colgajos conservadores y minimiza complicaciones postoperatorias.	Conservación de la integridad ósea cortical, menor riesgo de daño a estructuras críticas (nervio mentoniano), mayor precisión en el corte óseo, menor inflamación postoperatoria y mejor visibilidad quirúrgica	Alta precisión en longitud y ángulo de resección apical, menor trauma quirúrgico, menor daño a tejidos adyacentes, y éxito clínico en cicatrización. Beneficia a cirujanos con menor experiencia al facilitar el procedimiento.
<b>Innovaciones destacadas</b>	Integración de guías quirúrgicas personalizadas para tratamientos endodónticos complejos con ayuda del piezoeléctrico	Esta técnica guiada es útil en casos complejos. Facilita intervenciones cercanas a estructuras sensibles, como nervios y cortical grueso.	Optimización de cirugía guiada con trefinas en áreas complejas como molares maxilares y premolares cercanos a nervios, permitiendo extracciones y procedimientos de preservación ósea	Introducción de un trepano personalizado con tope físico, permitiendo mayor seguridad y precisión en la apicectomía logrando mejorar los resultados clínicos.	Integración de sistemas de realidad aumentada con CBCT para visualización 3D, minimizando las limitaciones de los sistemas de navegación dinámicos y estáticos.	Implementación de una guía anatómica personalizada optimizando la precisión de la osteotomía y reduciendo la invasividad quirúrgica.	Uso de tecnología piezoeléctrica para cortes precisos y seguros, integración de CBCT y escaneo intraoral para guías personalizadas y procedimientos menos invasivos que favorecen la regeneración ósea.	Primera validación clínica del impacto de guías 3D metálicas en la precisión quirúrgica. Las guías permiten alcanzar estándares ideales (3 mm de resección apical, ángulo casi perpendicular) y reducen desviaciones significativas comparado con procedimientos sin guía (basado en análisis estadístico).

Tabla #1: técnicas emergentes y avances tecnológicos en osteotomía y apicectomía guiada en microcirugía endodóntica.

bina imágenes de CBCT con tecnología de posicionamiento espacial, guiando al operador en ángulos, trayectorias y profundidades con gran precisión <sup>27-31</sup>. A diferencia de las guías estáticas, el DNS es más flexible en espacios quirúrgicos limitados y permite modificaciones inmediatas durante la intervención, como se destacó en el caso clínico de Lu YJ et al. (2022), donde se abordó exitosamente un molar mandibular con grosor cortical significativo y proximidad al canal mandibular <sup>32</sup>.

La implementación de sistemas robóticos, como el Yomi, ha optimizado la precisión y seguridad en procedimientos quirúrgicos <sup>33-35</sup>. Este sistema, aprobado por la FDA, utiliza retroalimentación háptica y visual para prevenir errores, ofreciendo un flujo de trabajo completamente digital que mejora la eficiencia y facilita la recuperación del paciente. La tecnología háptica actúa como un mecanismo de seguridad, previniendo la sobrepenetración y asegurando una osteotomía exacta. Aunque la configuración inicial puede requerir tiempo, su capacidad para realizar la osteotomía y la resección apical en un solo paso reduce significativamente el tiempo total de la intervención y mejora el control intraoperatorio, disminuyendo riesgos y acelerando la recuperación <sup>33,34,36</sup>.

En este contexto, Chen et al. (2024) comparó tres abordajes de microcirugía: asistida por robot (RA-EMS), guiada por navegación dinámica y guiada por navegación estática. En este estudio, RA-EMS demostró la mayor precisión, especialmente en términos de desviación angular y exactitud en la resección del ápice, mientras que la navegación estática fue el método más rápido. La navegación dinámica, aunque menos eficiente en tiempo, destacó por su flexibilidad en escenarios complejos.

Estos hallazgos subrayan el potencial de la tecnología robótica para lograr resultados más predecibles en la práctica clínica <sup>37</sup>.

Además, se han logrado avances notables en osteotomía guiada con dispositivos piezoelectrónicos, introducidos por Rashad et al. (2015) <sup>38</sup>. Basados en microvibraciones ultrasónicas, estos dispositivos permiten cortes precisos sin generar calor ni vibraciones excesivas, minimizando el trauma quirúrgico y preservando estructuras como nervios y hueso cortical, mejorando los resultados postoperatorios <sup>39-41</sup>.

El láser de Erbio combinado con guías estáticas también ha demostrado ser una herramienta valiosa en microcirugía. Múltiples investigaciones destacan su capacidad para producir cortes limpios y precisos, eliminando la capa de barrillo dentinario y mejorando la cicatrización al facilitar la adhesión celular <sup>42-44</sup>. Además, la irradiación con láser ER,Cr:YSGG estimula factores de crecimiento derivados de plaquetas, promoviendo una regeneración eficiente <sup>45</sup>. Este láser también reduce el sangrado y el trauma tisular, superando a los métodos tradicionales <sup>42</sup>.

Una tendencia prometedora es la microcirugía sin colgajo, apoyada en guías personalizadas, que reduce la morbilidad, el tiempo de recuperación y las complicaciones. Esto es especialmente útil en pacientes con estructuras anatómicas complejas o en proximidad a estructuras críticas <sup>46</sup>.

Mirando hacia el futuro, tecnologías emergentes como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) podrían revolucionar la microcirugía endodóntica. La RA permite superponer imágenes

preoperatorias en tiempo real sobre la anatomía del paciente, mejorando la precisión y optimizando el acceso en áreas difíciles. Por su parte, la RV ofrece simulaciones inmersivas que ayudan a planificar procedimientos y perfeccionar habilidades quirúrgicas en un entorno controlado, reduciendo errores y mejorando la confianza operatoria <sup>47-49</sup>.

Con respecto a las limitaciones del estudio, la revisión del presente trabajo es de tipo narrativa y no sistemática, lo cual implica que no se aplicaron herramientas formales para evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos, lo que puede introducir sesgos de selección e interpretación. A pesar de ser realizada una búsqueda exhaustiva de la información disponible, solo fueron incluidos 16 estudios relevantes, pudiendo limitar la generalización de los hallazgos. No se realizó una síntesis cuantitativa (metaanálisis); por tanto, no es posible establecer una medida objetiva del efecto clínico de las tecnologías analizadas. Los estudios revisados presentan una alta heterogeneidad en cuanto a diseño, tamaño muestral, tecnología utilizada y criterios de evaluación clínica, lo cual dificulta la comparación directa entre ellos. Asimismo, algunas tecnologías emergentes, como la realidad aumentada o los sistemas robóticos, aún carecen de evidencia clínica sólida a largo plazo, ya que la mayoría han sido evaluadas principalmente en estudios *in vitro* o *ex vivo*. Por último, muchas de las técnicas descritas requieren equipos sofisticados y costosos, lo cual limita su implementación en contextos clínicos con recursos restringidos.

## CONCLUSIONES

La osteotomía y apicectomía guiada se presenta como un avance significativo en el ámbito de la

microcirugía endodóntica, al proporcionar mayor precisión y reducir las complicaciones asociadas en comparación con las técnicas convencionales. La incorporación de tecnologías avanzadas como el CBCT, las guías quirúrgicas personalizadas y los dispositivos piezoelectrónicos y laser, han optimizado los procedimientos al mejorar los resultados clínicos y minimizar el impacto en los tejidos circundantes.

Tendencias emergentes como el uso de la realidad aumentada y virtual abren nuevas oportunidades tanto para la planificación quirúrgica como para la formación de profesionales, planteando un cambio significativo en la práctica futura de la microcirugía endodóntica. Sin embargo, a pesar de los beneficios evidentes de estas tecnologías, es fundamental realizar más estudios clínicos que validen su eficacia y sostenibilidad económica, permitiendo así su adopción más amplia y justificada en el contexto clínico. Estas innovaciones representan un paso adelante en la búsqueda de tratamientos más eficaces, menos invasivos y con mejores resultados clínicos y radiográficos para los pacientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tabassum S., Khan F.R. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *Eur J Dent.* 2016; 10:144-147.
2. Monaghan L., Jadun S., Darcey J. Endodontic microsurgery. Part one: Diagnosis, patient selection and prognoses. *Br Dent J.* 2019; 226: 940-948.
3. García-Guerrero C., Quijano S., Niño-Barrera J., Marín-Zuloaga D. Predictors of clinical outcomes in endodontic microsurgery: a systematic review and meta-analysis. *Giornale italiano di endodonzia.* 2017; 31(1): 2-13.
4. Setzer F., Kratchman S. Present status and future directions: Surgical endodontics. *Int Endod J.* 2022; 55 (4): 1020-1058.
5. Pop I. Oral surgery: part 2. Endodontic surgery. *Br Dent J* 2013; 215 (6): 279-86.
6. Gilheany P., Figidor D., Tyas M. Apical dentin permeability and microléakage associated with root end resection and retrograde filling. *J Endod.* 1994; 20 (1): 22-6.

7. Kim S., Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. *J Endod.* 2006; 32 (7): 601-23.
8. Mjor I., Nordahl I. The density and branching of dentinal tubules in human teeth. *Arch Oral Biol.* 1996; 41 (5): 401-12.
9. Kim U., Kim S., Kim E. The application of “bone window technique” using piezoelectric saws and a CAD/CAM-guided surgical stent in endodontic microsurgery on a mandibular molar case. *Restor Dent Endod.* 2020; 45 (3):e27.
10. Lee S., Yu Y., Wang Y., Kim E., Kim S. The Application of “Bone Window” Technique in Endodontic Microsurgery. *J Endod.* 2020; 46 (6): 872-880.
11. Decurcio D., Bueno M., Silva J., Loureiro M., Damião Sousa-Neto M., Estrela C. Digital Planning on Guided Endodontics Technology. *Braz Dent J.* 2021; 32 (5): 23-33.
12. Kim D., Ku H., Nam T., Yoon T., Lee C., Kim E. Influence of size and volume of periapical lesions on the outcome of endodontic microsurgery: 3-Dimensional analysis using cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2016; 42 (8): 1196-201.
13. Lee S., Yu Y., Wang Y., Kim E., Kim S. The Application of “Bone Window” Technique in Endodontic Microsurgery. *J Endod.* 2020; 46 (6): 872-880.
14. Siragusa C., Alfie N., Gimenez M., Rodríguez P. Microcirugía endodóntica con planificación digital y guía quirúrgica: caso clínico. *Rev Fac Odont de la Universidad de Buenos Aires.* 2021; 36 (83): 13-20.
15. Iqbal A., Sharari T., Khattak O., Chaudhry F., Bader A., Saleem M., Issrani R., Almакtoom I., Albalawi R., Alserhani E. Guided Endodontic Surgery: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas).* 2023; 59 (4): 678.
16. Von Arx T., Walker W. 3rd Microsurgical instruments for root-end cavity preparation following apicoectomy: a literature review. *Endod Dent Traumatol.* 2000; 16: 47-62.
17. Rashmi S., Saini K. Guided osteotomy: A conservative method for periapical surgery with the aid of conebeam computed tomography and three-dimensional printing technology. *Tanta Dent J.* 2022; 19 (3): 172-176.
18. Reddy S., Gadhira S., Quraishi A., Kamishetty S. Targeted Endodontic Microsurgery: A Guided Approach - A Report of Two Cases. *Contemp Clin Dent.* 2022; 13 (3): 280-283.
19. Ahn SY, Kim NH, Kim S, Karabucak B, Kim E. Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing-guided Endodontic Surgery: Guided Osteotomy and Apex Localization in a Mandibular Molar with a Thick Buccal Bone Plate. *J Endod.* 2018 Apr;44(4):665-670.
20. Strbac GD, Schnappauf A, Giannis K, Moritz A, Ulm C. Guided Modern Endodontic Surgery: A Novel Approach for Guided Osteotomy and Root Resection. *J Endod.* 2017 Mar;43(3):496-501.
21. Zhao, D., Xie, W., Li, T. et al. New-designed 3D printed surgical guide promotes the accuracy of endodontic microsurgery: a study of 14 upper anterior teeth. *Sci Rep.* 2023;(13)155-12.
22. Pinsky HM, Champleboux G, Sarment DP. Periapical surgery using CAD/CAM guidance: preclinical results. *J Endod.* 2007 Feb;33(2):148-51.
23. Reddy S, Gadhira S, Quraishi A, Kamishetty S. Targeted Endodontic Microsurgery: A Guided Approach - A Report of Two Cases. *Contemp Clin Dent.* 2022 Jul-Sep;13(3):280-283.
24. Giacomo C., Ray J., Wealleans J. Targeted endodontic microsurgery: a novel approach to anatomically challenging scenarios using 3-dimensional-printed guides and trephine burs-a report of 3 cases. *J Endod.* 2018; 44: 671-677.
25. Antal M., Nagy E., Sanyó L., Braunitzer G. Digitally planned root end surgery with static guide and custom trephine burs: A case report. *Int J Med Robot.* 2020; 16 (4): e2115.
26. Nagy E, Braunitzer G, Gryschka DG, Barrak I, Antal MA. Accuracy of digitally planned, guided apicoectomy with a conventional trephine and a custom-made endodontic trephine: An in vitro comparative study. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2022 Sep;123(4):388-394.
27. Buchgreitz J., Buchgreitz M., Børndal L. Guided root canal preparation using cone beam computed tomography and optical surface scans—An observational study of pulp space obliteration and drill path depth in 50 patients. *Int Endod J.* 2019; 52: 559-568.
28. Jain S., Saunders M., Carrico C., Jadhav A., Deeb J., Myers G. Dynamically Navigated versus Freehand Access Cavity Preparation: A Comparative Study on Substance Loss Using Simulated Calcified Canals. *J Endod.* 2020; 46: 1745-1751.
29. Dianat O., Nosrat A., Tordik P., Aldahmash S., Romberg E., Price J., Mostoufi B. Accuracy and Efficiency of a Dynamic Navigation System for Locating Calcified Canals. *J Endod.* 2020; 46: 1719-1725.
30. Leontiev W., Connert T., Weiger R., Krastl G., Magni E. Dynamic Navigation in Endodontics: Guided Access Cavity Preparation by Means of a Miniaturized Navigation System. *J Vis Exp.* 2022; 183.
31. Liu S., Zhao Y., Wang X., Wang Z. In vitro evaluation of positioning accuracy of trephine bur at different depths by dynamic navigation. *J Peking Univ. (Health Sci.).* 2022; 54: 146-152.
32. Lu Y., Chiu L., Tsai L., Fang C. Dynamic navigation optimizes endodontic microsurgery in an anatomically challenging area. *J Dent Sci.* 2022; 17 (1): 580-582.
33. Talib H., Wilkins G., Turkyilmaz I. Flapless dental implant placement using a recently developed haptic robotic system. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2022; 60: 1273-5.
34. Bolding S., Reebey U. Accuracy of haptic robotic guidance of dental implant surgery for completely edentulous arches. *J Prosthet Dent.* 2022; 128: 639-47.
35. Wu Y., Wang F., Fan S., Kwok-Fai J. Robotics in dental implantology/implantology. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2019; 31: 513-58.
36. Isufi A., Hsu T., Chogle S. Robot-Assisted and Haptic-Guided Endodontic Surgery: A Case Report. *J Endod.* 2024; 50 (4): 533-539.
37. Chen C., Qin L., Zhang R., Meng L. Comparison of Accuracy and Operation Time in Robotic, Dynamic, and Static-Assisted Endodontic Microsurgery: An In Vitro Study. *J Endod.* 2024; 50 (10): 1448-1454.
38. Rashad A., Sadr-Eshkevari P., Heiland M., Smeets R., Prochnow N., Hoffmann E., Maurer P. Practitioner

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

experience with sonic osteotomy compared to bur and ultrasonic saw: a pilot in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015; 44 (2): 203-208.

39. Vargas-Buratovic J., Lopez-Suarez C., Rojas-Bascunan A., Pinedo-Henriquez F. Piezoelectric bone surgery compared to conventional saw in orthognathic surgery. *Int J Interdiscip Dent.* 2021; 14 (1): 73-78.
40. Fernández-Grisales R., Rojas W., Berruecos-Orozco C. Piezoelectric endodontic microsurgery with modified cortical window technique: a case report. *J Endod Microsurg.* 2023; 2: 34-40.
41. Castillo GA, Restrepo-Méndez SA, Gustin MF, Zamora IX. Proposal for an anatomic guide in cortical bone window technique for endodontic microsurgery: a case report. *J Endod Microsurg.* 2024; 3: 100017.
42. Torres-Celeita J., Hernández-La Rotta JL\*, Chirinos-Salazar A, Fandiño-Rodríguez J, López-Rincón L, Orduz-Solorzano M, Parra-Galvis D, Jiménez-Peña O. Periradicular surgery guided with Erbium Er Cr Laser:YSGG. Case Report. *J of Dental Science.* 2024; 17 (2): 580-582.
43. Pandarathodiyil A., Anil S. Lasers and their Applications in the Dental Practice. *Int J Dentistry Oral Sci.* 2020; 7 (11): 936-943.
44. Gabrić Pandurić D., Bago I., Katanec D., Zabkar J., Miletić I., Anić I. Comparison of Er:YAG laser and surgical drill for osteotomy in oral surgery: an experimental study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012; 70 (11): 2515-2521.
45. Kesler G., Shvero D., Tov Y., Romanos G. Platelet derived growth factor secretion and bone healing after Er:YAG laser bone irradiation. *J Oral Implantol.* 2011; 37: 195-204.
46. Schmid C., Lotz M., Pieralli S., Valdec S. Guided flapless apicoectomy of the palatal root of a maxillary molar: a case presentation. *Quintessence Int.* 2022; 53 (7): 608-614.
47. Tamayo-Estebaranz N., Viñas M., Arrieta-Blanco P., Zubizarreta-Macho A., Aragoneses-Lamas J. Is Augmented Reality Technology Effective in Locating the Apex of Teeth Undergoing Apicoectomy Procedures? *J Pers Med.* 2024; 14 (1): 73.
48. Remschmidt B., Rieder M., Gsaxner C., Gaessler J., Payer M., Wallner J. Augmented Reality-Guided Apicoectomy Based on Maxillofacial CBCT Scans. *Diagnostics (Basel).* 2023; 13 (19): 3037.
49. Bosshard FA, Valdec S, Dehghani N, Wiedemeier D, Fürnstahl P, Stadlinger B. Accuracy of augmented reality-assisted vs template-guided apicoectomy - an ex vivo comparative study. *Int J Comput Dent.* 2023 Feb 24; 26(1): 11-18.