



# Precisión del uso de guías endodónticas 3D planificadas digitalmente para el acceso de dientes mineralizados

Trabajo de investigación requisito para optar al  
Título de Especialista en Endodoncia

Alumna: Dra. Carolina Cornejo Coyopae

Docente Guía: Dr. Diego Tomasello.

Docente Co-tutor: Dra. Alicia Caro.

Valparaíso, Chile 2026

## ÍNDICE

Introducción.....	5-6
Marco teórico .....	7-27
1. Dientes mineralizados.....	7-15
a. <i>Descripción</i> .....	7-8
b. <i>Clasificación</i> .....	8-10
c. <i>Etiología</i> .....	10-12
d. <i>Patogénesis de la mineralización del conducto pulpar</i> .....	13
e. <i>Epidemiología</i> .....	14
f. <i>Diagnóstico, tratamiento y manejo</i> .....	14-15
g. <i>Complicaciones</i> .....	15
2. Acceso Endodóntico.....	16-18
a. <i>Descripción</i> .....	16
b. <i>Acceso endodóntico manual</i> .....	16-18
3. Endodoncia Guiada.....	19-27
a. <i>Descripción</i> .....	19
b. <i>Instrumentos y tecnologías utilizadas</i> .....	19
c. <i>Técnicas</i> .....	20-25
- <i>Endodoncia Guiada Estática</i> .....	20-22
- <i>Endodoncia Guiada Dinámica</i> .....	22-25
d. <i>Ventajas y desventajas generales</i> .....	26-27

## Objetivos

1. <i>Objetivo general</i> .....	28
2. <i>Objetivos específicos</i> .....	28

## Materiales y métodos

1. <i>Diseño de estudio</i> .....	28
2. <i>Pregunta de investigación</i> .....	28-29
3. <i>Estrategia de búsqueda</i> .....	29-31
4. <i>Selección de los estudios</i> .....	31-32
5. <i>Criterios de elegibilidad</i> .....	33
6. <i>Extracción de datos</i> .....	33-37

<b>Resultados</b> .....	37-43
<b>Discusión</b> .....	43-46
<b>Conclusión</b> .....	47
<b>Bibliografía</b> .....	48-53

## RESUMEN

**Antecedentes:** Los dientes mineralizados presentan una obliteración parcial o completa del conducto pulpar producto del depósito de dentina. (1-4)

Uno de los principales desafíos en el tratamiento endodóntico es la complejidad anatómica del conducto radicular (5), que sumada a la dificultad que presentan los dientes mineralizados puede generar un problema para los Endodoncistas al momento de realizar el acceso endodóntico. (6) Con tal de reducir estas complejidades, el tiempo de trabajo y el riesgo de errores en la técnica, se desarrolló la endodoncia guiada, la cual corresponde a un enfoque de terapia asistida por computadora. (10)

**Objetivo Principal:** Identificar mediante una revisión narrativa la [OBJ] precisión del uso de guías endodónticas 3D planificadas digitalmente en el acceso endodóntico de dientes mineralizados.

**Metodología:** Motores de búsqueda: MEDLINE, Web of science y SCOPUS. Los criterios de selección fueron: Estudios que evalúen la precisión de los accesos endodónticos realizados con guías en dientes mineralizados, publicados entre los años 2015 a 2025.

**Resultados:** El artículo concluye que las técnicas de endodoncia guiada, tanto estática como dinámica, permiten localizar de manera confiable los conductos en dientes con mineralización severa. Ambas tecnologías ofrecen acceso más seguro y conservador en comparación con los métodos convencionales. La guía estática muestra mayor exactitud, mientras que la dinámica aporta mayor flexibilidad durante el procedimiento. En conjunto, reducen el riesgo de desviaciones y perforaciones, favoreciendo una preparación más predecible. Sin embargo, se destaca la necesidad de más estudios clínicos para validar plenamente su aplicación en pacientes reales.

**Dientes mineralizados, Guías Endodónticas 3D, Acceso endodóntico, Precisión.**

**Pulp canal obliteration, Guided Endodontics, Endodontic access, Precision.**

## Introducción

Los dientes mineralizados presentan una obliteración parcial o completa del conducto pulpar producto del depósito de dentina. Esto se asocia a diferentes causas, tales como, traumatismo dental, revascularización, tratamiento de ortodoncia, terapia pulpar vital, caries, restauraciones, abfracciones, cambios fisiológicos en pacientes mayores, factores genéticos y sistémicos. (1-4)

Uno de los principales desafíos en el tratamiento endodóntico es la complejidad anatómica del conducto radicular (5), que sumada a la dificultad que presentan los dientes mineralizados puede generar un problema para los Endodoncistas al momento de realizar el acceso endodóntico, tal como lo plantea la Asociación Americana de Endodoncia (AAE), que clasifica el tratamiento de conductos obliterados, como de alto nivel de dificultad producto del riesgo de complicaciones y fracasos (6)

Algunas de estas complicaciones pueden ser la generación de iatrogenias, como la fractura de instrumentos y perforaciones, (1) las cuales son una de las complicaciones más frecuentes, con valores del 2 y 12% respectivamente. (7) También las demoras en la localización de los conductos radiculares, prolongando esta etapa hasta 60 minutos incluso utilizando un microscopio quirúrgico. (8)

Se debe considerar además, que la localización de los conductos radiculares es esencial para el éxito del tratamiento endodóntico ya que la omisión en la preparación de alguno afecta su pronóstico, y por tanto, la supervivencia del diente, al igual que las otras complicaciones mencionadas. (9)

Con tal de reducir estas complejidades, el tiempo de trabajo y el riesgo de errores en la técnica, se desarrolló la endodoncia guiada, la cual corresponde a un enfoque de terapia asistida por computadora. (10)

En este tipo de terapia se utilizan guías endodónticas las cuales han reportado una alta precisión del procedimiento en estudios preclínicos al comparar la trayectoria de

perforación con el tratamiento planificado, sin estar influenciado por la habilidad del operador. Además, su uso puede disminuir el tiempo operatorio en el sillón. (4)

De esta rama, existen dos técnicas, la asistencia guiada estática y la dinámica, donde la estática se introdujo antes, por lo que está mejor respaldada científicamente. Pese a esto, la asistencia guiada dinámica presenta un mayor potencial. Sin embargo, se necesitan más estudios para afirmar la precisión de ambas técnicas. Además sería importante realizar estudios en diferentes escenarios clínicos. (6)

## Marco Teórico

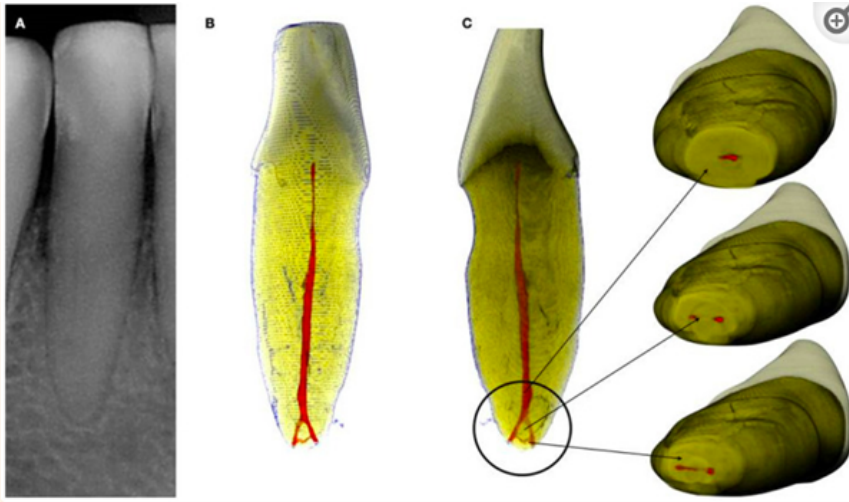
### 2.1. Dientes mineralizados

#### a. Descripción

Los dientes mineralizados, también llamados con calcificación u obliteración del conducto pulpar (OCP) corresponden a dientes que presentan un depósito de tejido duro al interior del conducto radicular lo que genera un estrechamiento progresivo o completo (1,3,4,6), presentando una coloración amarillenta y disminución o ausencia de sensibilidad (11), lo que no necesariamente implica una alteración en la pulpa (3).

Esta mineralización, también conocida como metamorfosis calcificada (CM) corresponde a una reacción pulpar ante el traumatismo. En este se produce una rápida deposición de tejido duro en el espacio del conducto radicular, lo que conlleva a una obliteración. Esto dependerá de la gravedad del trauma y de la etapa de desarrollo de la raíz. (12)

Radiográficamente, se clasifica en mineralización o estrechamiento parcial, donde la cámara pulpar será indistinguible y los conductos radiculares estarán estrechos pero detectables, mientras que si es total la cámara pulpar y los conductos radiculares serán difíciles de detectar o directamente no serán detectables. (3) Pese a lo visto radiográficamente, histológicamente y a través de microfotografías computarizadas, se sugiere la presencia de un conducto estrecho acompañado de un filamento de tejido pulpar. (12)



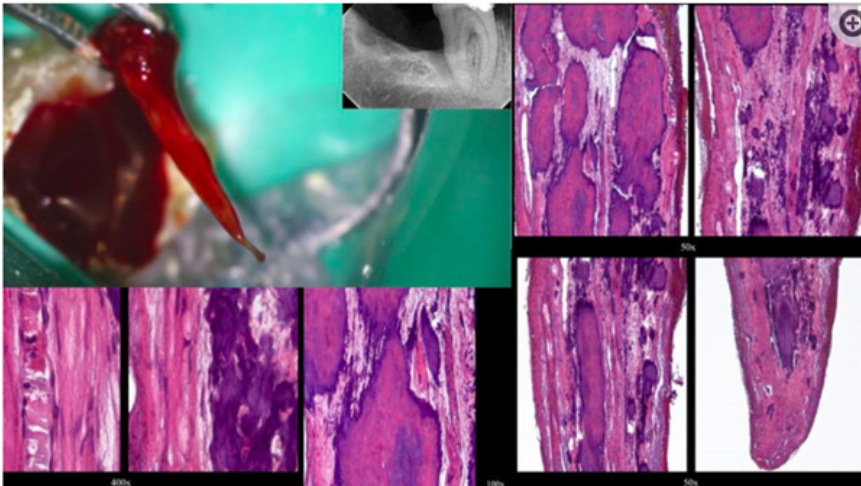
**Figura 1:** (A) Radiografía periapical de un incisivo mandibular mineralizado y desgastado sin lumen visible del conducto. (B) Reconstrucción tridimensional por microtomografía computarizada del mismo incisivo mandibular mineralizado que fue extraído por razones protésicas. La microtomografía computarizada revela un conducto permeable. (C) Anatomía apical del conducto radicular del conducto mineralizado seccionado, que revela la bifurcación del conducto y la anastomosis apical (dispositivo de escaneo por microtomografía computarizada Skyscan 1172, Bruker MicroCT, Bélgica) (imágenes cortesía del Dr. Alexey Volokitin, ciudad de Dnepr, Ucrania). \*Imagen obtenida de Chaniotis et al 2024.

## b. Clasificación

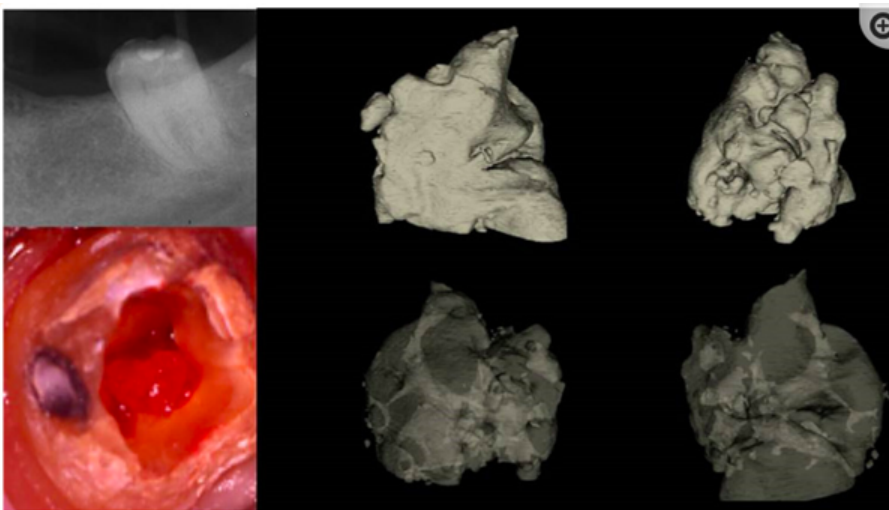
Los dientes mineralizados se pueden clasificar:

-Según su tamaño:

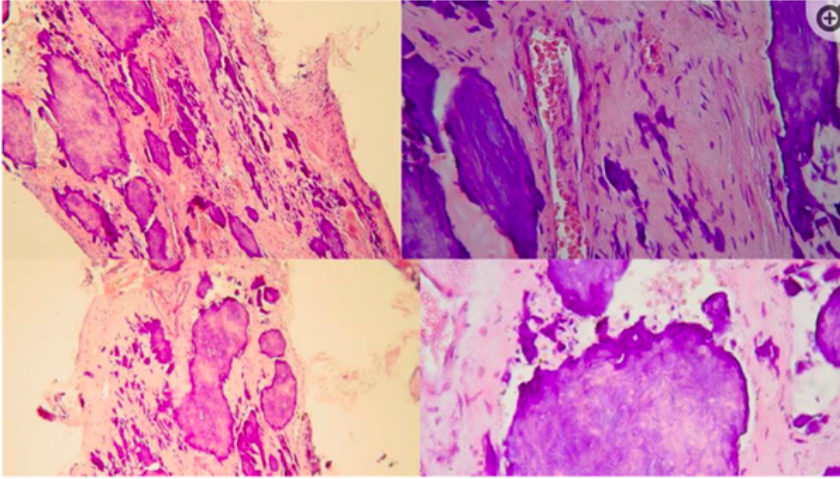
- Calcificaciones difusas o lineales que se encuentran en la pulpa radicular (Figura 2). (12)
- Cálculos pulpares o dentículos que son más comunes en la parte coronal del diente (Figura 3 y 4). (12)



**Figura 2:** *Imágenes histológicas del tejido pulpar vital mineralizado que se eliminó durante el tratamiento de conducto de un segundo molar mandibular con lesión periodontal distal profunda que padecía pulpitis irreversible sintomática. Nótese los nódulos mineralizados lineales formados a lo largo de los vasos de la pulpa radicular (tinción con hematoxilina-eosina) (las imágenes clínicas y radiográficas son cortesía del Dr. Chaniotis Antonis y las imágenes histológicas son cortesía del Prof. Domenico Ricucci). \*Imagen obtenida de Chaniotis et al 2024.*



**Figura 3:** *Extracción de un cálculo pulpar de un segundo molar mandibular con pulpitis irreversible. Evaluación mediante micro-TC de la estructura externa e interna del cálculo pulpar. Nótese que la estructura del cálculo pulpar no es sólida, presentando una red interna de tejido no mineralizado. La importancia clínica es que los cálculos pulpares pueden disecarse en trozos más pequeños y extraerse (imágenes clínicas, radiográficas y de micro-TC cortesía del Dr. Chaniotis Antonis). \*Imagen obtenida de Chaniotis et al 2024.*



**Figura 4:** La histología del cálculo de pulpa libre muestra nódulos mineralizados distintivos que crecen alrededor de una red de material de matriz extracelular no mineralizado y vasos capilares (tinción con hematoxilina-eosina) (imágenes histológicas cortesía del Dr. Chaniotis Antonis). \*Imagen obtenida de Chaniotis et al 2024.

-Según su estructura:

- Dentículos verdaderos son similares a la dentina y presentan túbulos, procesos odontoblasticos y unos escasos odontoblastos. (12)
- Dentículos falsos son capas de tejido mineralizado que rodean una región celular central, la cual puede ser potencialmente necrótica y servir como punto focal para la generación de un dentículo. (12)

-Según su localización:

En esta clasificación se encuentran los dentículos libres que son masas rodeadas de tejido pulpar, dentículos incrustados que son piedras adheridas y que están rodeadas de dentina y dentículos adheridos que también son piedras pulpares pero estas están parcialmente fusionadas con dentina en constante crecimiento (13)

### c. Etiología

Algunos factores locales y sistémicos relacionados son: (1,3,4,14,15)

Factores locales:

- Trauma dental: Se ha informado que entre el 3,8 y 24% de los dientes que han sufrido traumas desarrollan diferentes grados de mineralización. Algunos de estos traumas corresponden a luxaciones laterales tanto en dientes maduros como inmaduros mostrando una frecuencia de 8,1 a 31,8% respectivamente y dientes inmaduros avulsionados y reimplantados con una frecuencia del 96%, entre otros traumas. (15)
- Mineralización del conducto pulpar relacionada con tratamientos dentales: tales como respuestas pulpares a lesiones cariosas, luego de procedimientos de terapia pulpar vital, restauraciones, reimplantación o autotrasplante de dientes avulsionados, luego de una fractura corono-radicular o radicular y fuerzas ortodóncicas, las cuales aumentan la prevalencia de cálculos pulpares en un 2,2 a 4%. Pese a esto, los autores opinan que las fuerzas ortodóncicas son fuerzas de disipación leves a moderadas, que generan un cambio en el tejido completamente diferente respecto a las fuerzas traumáticas pesadas, que generan movimientos repentinos de los dientes en el alveolo y generalmente dañan el suministro vascular y nervioso pulpar, resultando en una obliteración. (15)
- Proceso de envejecimiento: los depósitos de dentina secundaria a lo largo de la vida también pueden generar la mineralización del conducto. (3,4,14,15)

## Factores sistémicos:

- Asociación con afecciones sistémicas: Se ha reportado que algunas afecciones sistémicas también están relacionadas con la mineralización del conducto, tales como como la calcinosis tumoral, displasia dentinaria tipo I y II, esclerosis sistémica progresiva, defecto dentinario no sindrómico, dentinogénesis imperfecta, osteogénesis imperfecta tipo I, osteólisis expansiva familiar y también la enfermedad crónica de injerto contra huésped (cGVHD). (15) Además, se ha observado una mayor predisposición a ésta en pacientes con hipercalcemia (exceso de vitamina D), GOTA, Enfermedades renales en etapa terminal, Enfermedades cardiovasculares, Hiperparatiroidismo, Diabetes Mellitus tipo II, trastornos autoinmunes y pacientes con cálculos renales. (15)
- Predisposición genética: También se ha observado que la mineralización del conducto puede tener una predisposición genética. (15)
- Asociación con síndromes: Se ha relacionado con los siguientes síndromes como un hallazgo clínico y radiográfico: síndrome de Saethre–Chotzen, el síndrome de facies de duende, el síndrome de Ehlers–Danlos tipo I, el síndrome otodental, el síndrome de Van der Woude, el síndrome de Marfan, y los síndromes asociados con la fibromatosis gingival. (15)
- Asociación con medicamentos: Algunos fármacos también se han relacionado con la mineralización del conducto pulpar, tales como estatinas y el uso prolongado de glucocorticoides.(15)

En particular, la mineralización parcial se asocia mayormente a traumas, desplazamiento dentario, fracturas de mandíbula, reimplantación dentaria y tratamientos endodónticos, mientras que la mineralización total, se asocia más al envejecimiento, atrición, caries profundas y restauraciones extensas. (12)

#### d. Patogénesis de la mineralización del conducto pulpar

Los mecanismos exactos en el depósito de tejido duro que provoca esta obliteración siguen siendo desconocidos. Algunas teorías sugieren como factores el daño de los nervios y vasos, la respuesta nerviosa simpática, cambios en los odontoblastos y la mineralización inducida por coágulos sanguíneos como posibles orígenes. (14)

Según Heithersay, las lesiones traumáticas generan una suspensión temporal del suministro sanguíneo, lo que causa una disminución transitoria de la celularidad pulpar producto de la destrucción de los odontoblastos de esta zona. Estos odontoblastos son reemplazados por células mesenquimáticas indiferenciadas, las cuales depositan rápidamente dentina reparativa de manera descontrolada. Esto también genera un aumento en el depósito de iones de calcio en los capilares, reduciendo su permeabilidad y generando una disminución del flujo de suero en la pulpa. Este suministro de suero disminuido genera una baja concentración de la enzima pirofosfatasa, una enzima autolimitante que está involucrada en la regulación de la tasa de mineralización. (15)

Andreasen describió la mineralización del conducto como una respuesta a una lesión del suministro neurovascular de la pulpa, y que después de la reparación, se conduce a una aceleración del depósito de dentina, lo cual está relacionado con la pérdida y el restablecimiento del suministro nervioso de la pulpa. Además postuló que podría ser causada por una respuesta nerviosa simpática descontrolada al trauma, generando una disminución en el suministro sanguíneo, generando una depresión respiratoria de la pulpa, culminando en la mineralización patológica y la obliteración del conducto pulpar. (15)

Torneck relacionó el depósito descontrolado de dentina a la estimulación o pérdida de la regulación de los odontoblastos preexistentes. (15)

Cohen y Hargreaves postularon que el trauma puede resultar en un sangrado dentro del conducto, formando un coágulo sanguíneo que sirve como núcleo para iniciar la mineralización en la pulpa vital, lo que conduce a la mineralización del conducto. (15)

#### e. Epidemiología

La mineralización parcial del sistema de conductos radiculares demuestra una prevalencia que varía del 3,8% al 24%. (12)

En la mayoría de los casos de dientes mineralizados se presentan a una edad intermedia de la adultez, entre los 50 y 59 años según diferentes autores. Además Gulsahi A et al. exponen una mayor incidencia en mujeres y en el sector de molares. (16)

#### f. Diagnóstico, tratamiento y manejo

Respecto a su manejo, es generalmente asintomática y se detecta en exámenes clínicos de rutina al presentar cambio en el color dentario mostrando una coloración más amarillenta (3). Generalmente en estos dientes la respuesta al frío o calor suele disminuir, y la respuesta a las pruebas eléctricas puede mostrar resultados normales o ausentes, dependiendo del tamaño y localización de la mineralización. (17)

En estos casos, el tratamiento endodóntico se indica en presencia de síntomas clínicos como en lesiones periapicales, dolor a la percusión, respuesta negativa a las pruebas de sensibilidad y discromía. (3,11,14)

Pese a que la mineralización del conducto pulpar se trata de una respuesta defensiva que indica la vitalidad del diente, puede conducir a una Necrosis de la pulpa, ya que los conductos contienen vasos y células nutricias que pueden infectarse a través de los túbulos dentinarios (6). La probabilidad de que se desarrolle una alteración pulpar en estos dientes va desde el 1 al 16%. (18)

Antiguamente, se proponía el tratamiento profiláctico-preventivo para estos dientes, ya que se cree que el riesgo de que los conductos se obliteren aumenta luego de sufrir nuevamente un trauma o después de tratamientos de ortodoncia o restauraciones. Sin embargo, actualmente se recomienda controlar clínica y

radiográficamente estos dientes, y realizar el tratamiento endodóntico sólo en casos de sintomatología o compromiso periapical. (6)

#### g. Complicaciones

En caso de requerir tratamiento endodóntico, este presenta un desafío debido a que la obliteración de la cámara pulpar y los lúmenes de los conductos generan dificultades en la ubicación del acceso, prolongándola hasta 60 minutos incluso con la utilización de microscopio (18), y también en la negociación, preparación y limpieza de los conductos. (12) Además, se asocia con errores de procedimiento como perforaciones, fracturas, incapacidad de retirar fragmentos de instrumentos dentro de los conductos, transportación u alteraciones de la geometría del conducto y pérdida excesiva de tejido duro dental lo que puede tener consecuencias en la resistencia del diente a la fractura. (3,4,6,2)

Se debe considerar que el acceso cavitario de un diente mineralizado no existe una ubicación simétrica de los conductos ni la sensación táctil de "caer" en la cámara, por lo que el riesgo de perforación es alto. (3)

Es por esto que, en todas las formas de evaluación de dificultad disponibles, la negociación de los conductos de este tipo de dientes se ha considerado un desafío (12), es más, la Asociación Americana de Endodoncia (AAE) cataloga el tratamiento endodóntico de dientes atrésicos como de alto nivel de dificultad producto del riesgo de complicaciones o fracasos. (6,11)

La gravedad de estas dificultades es que pueden reducir el éxito del tratamiento afectando el pronóstico del diente o incluso conducir a la exodoncia (2,9).

## 2.2. Acceso Endodóntico

### a. Descripción

El acceso endodóntico es la primera fase del tratamiento de endodoncia y una de las más importantes. Para poder lograr un buen resultado en el tratamiento, la preparación de acceso resulta esencial (19)

La preparación de la cavidad de acceso endodóntico tiene los siguientes objetivos: a) Eliminar toda la caries, b) Conservar la máxima cantidad posible de estructura dentaria sana, c) Abrir totalmente la cámara pulpar, d) Eliminar todo el tejido pulpar coronal, ya sea vital o necrótico, e) Ubicar el sistema de conductos radiculares, f) Lograr el acceso directo de los instrumentos, y g) Establecer los márgenes de restauración para disminuir la filtración marginal (9,19).

### b. Acceso endodóntico manual

Tradicionalmente, la preparación de la cavidad de acceso se realiza de manera manual, de acuerdo a la anatomía dentaria y la experiencia clínica del operador. (8)

*Krasner y Rankow 2004*, encontraron que la unión amelocementaria era un hito importante para poder ubicar la cámara y el/los conducto(s) radicular(es), planteando las siguientes leyes anatómicas: (8,19)

- *Ley de centralidad*: El piso de la cámara pulpar siempre se localiza en el centro del diente a nivel de la unión amelocementaria.
- *Ley de concetricidad*: Las paredes de la cámara pulpar siempre son concéntricas a la superficie externa del diente a nivel de la unión amelocementaria, es decir, la anatomía de la superficie radicular externa refleja la anatomía de la cámara pulpar interna.

- *Ley de la unión amelocementaria:* La distancia de la superficie externa de la corona clínica a la pared de la cámara pulpar es la misma en toda la circunferencia del diente a nivel de la unión amelocementaria, haciendo que éste sea el lugar más repetido para localizar la posición de la cámara pulpar.
- *Primera ley de simetría:* excepto en los molares superiores, los orificios de los conductos son equidistantes a una línea dibujada en dirección mesiodistal a través del suelo de la cámara pulpar.
- *Segunda ley de simetría:* excepto en los molares superiores, los orificios de los conductos radiculares están situados en una línea perpendicular a la línea dibujada en dirección mesiodistal a través del centro del piso de la cámara pulpar.
- *Ley del cambio de color:* el piso de la cámara pulpar siempre tiene un color más oscuro que las paredes.
- *Primera ley de localización del orificio:* los orificios de los conductos radiculares están localizados siempre en la unión de las paredes y el piso.
- *Segunda ley de localización del orificio:* los orificios de los conductos radiculares están localizados siempre en los ángulos de la unión piso-pared.
- *Tercera ley de localización del orificio:* los orificios de los conductos radiculares están localizados siempre al final de las líneas de fusión del desarrollo de las raíces.

Algunas fresas utilizadas para el acceso manual:



**Figura 5 y 6:** Fresas de acceso: *Fresas de carburo nº 2, 4 y 6, y Fresas de diamante nº 2 y 4.*  
*\*Imagen obtenida del libro Vías de la pulpa, Cohen S.*



**Figura 7:** Fresas de acceso: *fresa de diamante cónica con punta de seguridad (izquierda); fresa de carburo cónica con punta inactiva de seguridad (derecha).* *\*Imagen obtenida del libro Vías de la pulpa, Cohen S.*

## 2.3. Endodoncia Guiada

### a. Descripción

La endodoncia guiada corresponde a un nuevo enfoque que viene de la Implantología, y que se basa en la planificación del tratamiento endodóntico con la ayuda de tecnologías computarizadas con el objetivo de facilitar la ejecución del tratamiento endodóntico. (2,3,20).

Históricamente, el acceso a conductos radiculares mineralizados representaba un riesgo elevado de perforaciones radiculares y pérdida excesiva de estructura dentaria (55). La Endodoncia Guiada surge como una aplicación de la tecnología CAD/CAM y la planificación virtual para estandarizar el tratamiento (56).

De esta forma, permite localizar y tratar con precisión los conductos radiculares, aumentando la precisión y previsibilidad del tratamiento endodóntico. (25)

Actualmente, existen dos tipos de Endodoncia guiada, la Endodoncia Guiada Estática (SGE) y la Endodoncia Guiada Dinámica (DGE). (3)

### b. Instrumentos y tecnologías utilizadas

En estas técnicas se utilizan tecnologías computarizadas tales como: la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) para adquirir datos volumétricos, impresiones digitales intraorales obtenidas del uso de un escáner intraoral para adquirir datos de superficie y un sistema que se encarga de su diseño virtual para posteriormente imprimirlas en 3D. (18,21)

Se utiliza una guía impresa, basada en la imagen de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y el escaneo intraoral, que orienta una fresa dental hacia orificio del conducto radicular. (2,22,23)

c. Técnicas:

- Técnica de Endodoncia Guiada de Navegación Estática.

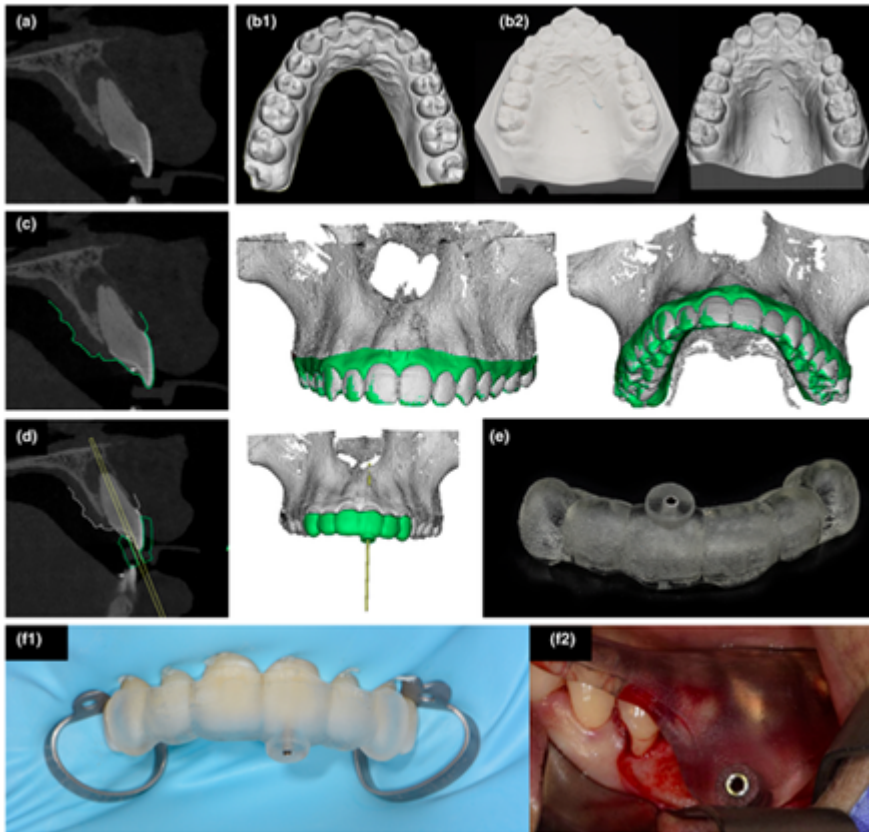
La endodoncia guiada estática surgió como una adaptación de la cirugía de implantes guiada por computadora hacia la endodoncia. Aunque los primeros reportes de técnicas similares datan de inicios de la década de 2010, fue en 2016 cuando Krastl et al. (57) y Buchgreitz et al. (58) estandarizaron el protocolo para la localización de conductos mineralizados.

- Evolución y Equipos: Inicialmente, el flujo de trabajo era analógico-digital, requiriendo impresiones físicas. Con la evolución de los escáneres intraorales, el proceso se volvió 100% digital. Los equipos han pasado de utilizar fresas de implantología estándar a fresas de carburo de tungsteno específicas para endodoncia, con diámetros extremadamente reducidos (de 0.85 mm a 1.5 mm) y longitudes extendidas para alcanzar el tercio apical (59, 56).
- Características Técnicas: Se fundamenta en la superposición de archivos DICOM (obtenidos mediante CBCT) y archivos STL (del escaneo intraoral). Mediante un software de planificación, se diseña una férula o guía que se fabrica por impresión 3D (SLA o DLP). Esta guía posee un "anillo" o cilindro maestro que estabiliza la fresa, restringiendo mecánicamente su movimiento a una sola trayectoria, profundidad y ángulo predefinidos (60).

En cuanto a la *técnica*, a partir de la planificación basada en CBCT y el escaneo de la superficie se fabrica una plantilla para la perforación guiada utilizando técnicas de creación rápida de prototipos. (9, 23) Estas guías pueden tener un soporte dental, óseo o mucoso. (21)

### Procedimiento clínico (3):

1. Se obtiene una imagen CBCT de la arcada superior o inferior del paciente dependiendo del diente a tratar.
2. Se realiza un registro de la arcada de interés, la cual se puede realizar a través de una impresión que se escaneará posteriormente o directamente con un escáner intraoral.
3. Estas dos imágenes obtenidas se superponen a través de un software, con lo que se diseñará la guía que cubrirá el diente objetivo y algunos dientes adyacentes.
4. En esta guía se diseña el orificio de perforación con un diámetro y angulación específicos que permitirán el acceso directo al conducto mineralizado.
5. A continuación se pueden diseñar cilindros de metal que permitirán el acceso estable y cuantificado de una fresa al interior del conducto radicular a través del orificio de perforación.
6. Finalizado el diseño, el archivo se exporta desde el software de planificación en formato STL para la impresión 3D de la guía.
7. Se imprime la guía 3D o se envía a un laboratorio.
8. Para proceder al uso de la guía se realiza aislamiento absoluto con goma dique y se prueba la guía para asegurar su ajuste estable.
9. El cilindro metálico guiará la fresa para acceder y remover el tejido mineralizado. Una vez removido por completo, se continúa con el tratamiento endodóntico convencional.



**Figura 8:** Flujo de trabajo para endodoncia guiada. Se adquiere una CBCT del paciente (a) así como una impresión intraoral digital directamente (b.1) o indirectamente (b.2). La información de ambas fuentes se combina y se registra en un software de planificación digital (c). Luego, se diseña (d) y se fabrica (e) una guía de tratamiento. Finalmente, la guía se utiliza durante la preparación de la cavidad de acceso guiada (f.1) o la cirugía apical (f.2: imagen adaptada de Ahn et al. 2018 ). \*Imagen obtenida de Moreno-Rabié et al. 2020.

- Técnica de Endodoncia Guiada de Navegación Dinámica (DNS).

La navegación dinámica tiene su origen en la neurocirugía y la otorrinolaringología. Su aplicación en odontología comenzó a finales de los años 90 para implantes, pero su uso específico en la localización de conductos mineralizados en endodoncia tomó relevancia científica a partir de 2018 (61).

- Evolución y Equipos: Los primeros sistemas eran complejos y difíciles de calibrar. Los equipos modernos, como Navident (ClaroNav) o X-Guide (X-Nav), utilizan cámaras de seguimiento óptico infrarrojo de alta velocidad.

Estos sistemas han evolucionado reduciendo el tamaño de los "marcadores" o clips de registro que se colocan en el paciente, mejorando la ergonomía en la cavidad oral (62, 63).

- **Características Técnicas:** Funciona bajo el principio de "triangulación". Una cámara detecta sensores colocados tanto en la pieza de mano como en el paciente. El software integra estas posiciones con el CBCT previo, permitiendo al clínico visualizar en un monitor, en tiempo real y en tres planos espaciales (axial, sagital y coronal), la posición exacta de la punta de la fresa. A diferencia de la estática, no existe una barrera física (guía) entre el operador y el diente (64, 65).

En la *técnica de Endodoncia Guiada de Navegación Dinámica* se integra un marcador visual durante la CBCT y la operación, evitando la necesidad de escanear la superficie. Este marcador es detectado por una cámara estereoscópica, que sirve como referencia para superponer datos CBCT, orientando el posicionamiento de la broca en tiempo real según la planificación, guiando el proceso de perforación en la angulación ideal, la vía y la profundidad de las cavidades de acceso (1,9, 23)

Procedimiento clínico (1):

1. Tomografía computarizada de haz cónico preoperatoria.

Se realiza la impresión con silicona o a través de un escáner intraoral que abarca el o los dientes objetivos y uno o más dientes adyacentes. El paciente usa el dispositivo de registro en el área de los dientes objetivos y se somete a una exploración CBCT.

2. Diseño de la trayectoria de perforación preoperatoria

Los datos CBCT se cargan al software del sistema de navegación endodóntica en formato de imágenes digitales. De acuerdo con las leyes de centralidad, concentricidad y límite amelocementario (LAC), la trayectoria de la broca se diseña para pasar a través del centro del LAC en las vistas coronal, sagital y horizontal de las imágenes CBCT.

### 3. Calibración y registro

La calibración y registro se basa en un marcador visual que emite una luz infrarroja. La pieza de mano y los dispositivos de referencia se deben calibrar a través de la recopilación de la información sobre los diferentes planos de las alas de la pieza de mano utilizando fresas redondas largas y cortas, respectivamente. Es así como DNS puede rastrear la posición dinámica de la pieza de mano con respecto al diente objetivo utilizando el dispositivo de referencia.

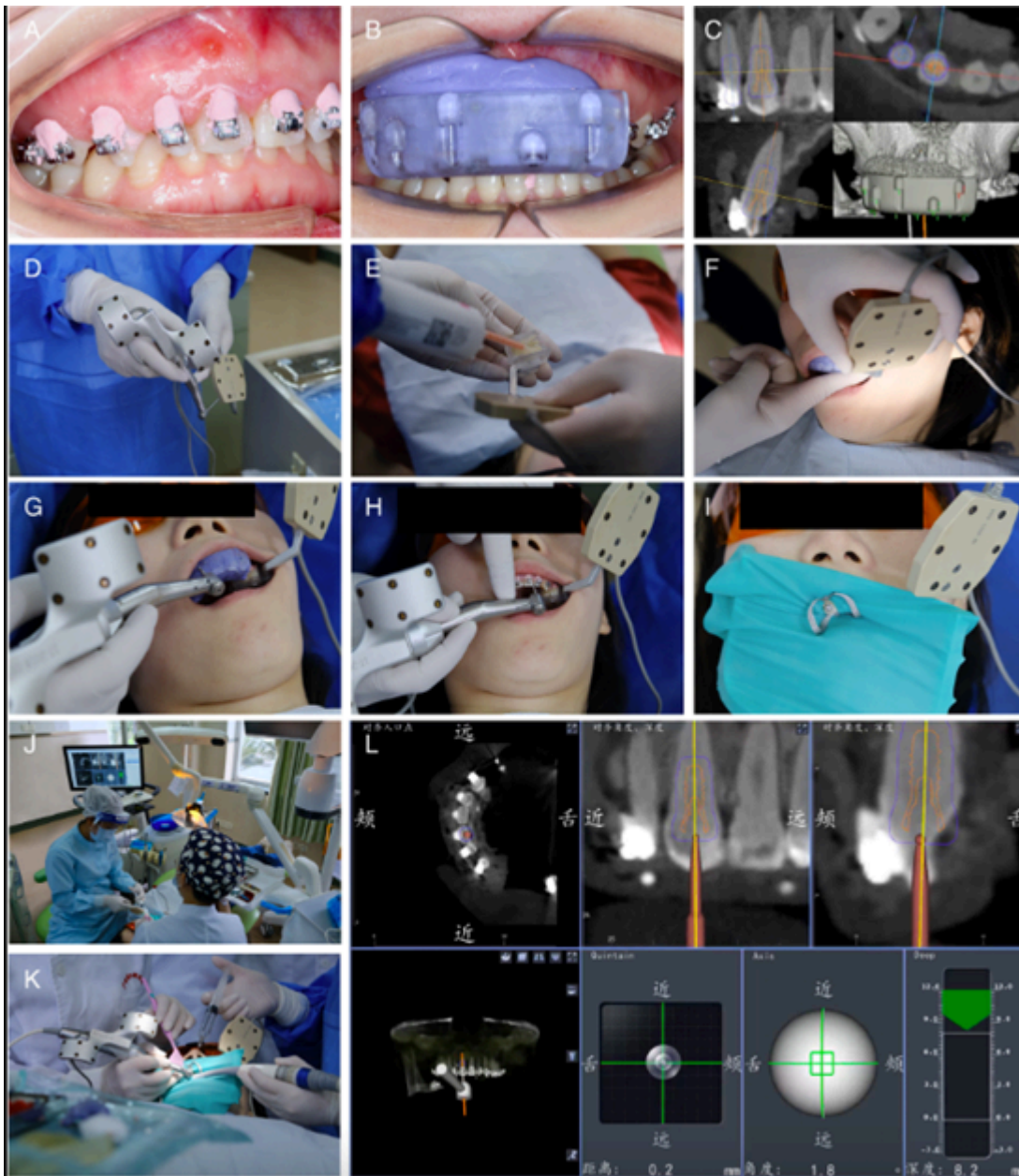
Se realizan marcadores en la imagen CBCT seleccionados en el software para el registro, e intraoralmente se mueve la fresa con la pieza de mano para contactar estos puntos de registro uno por uno.

Luego de la calibración y registro, el DNS calcula la posición espacial entre el diente objetivo y la pieza de mano para guiar el tratamiento en tiempo real.

### 4. Navegación dinámica en tiempo real

La apertura de la cámara pulpar y la localización del conducto se realiza bajo el DNS. Sin interrumpir el dispositivo de referencia, se coloca la goma dique en el diente objetivo.

El DNS rastrea constantemente las alas de la pieza de mano y el dispositivo de referencia, proporcionando retroalimentación visual al operador.



**Figura 9:** Procedimientos de la técnica de navegación dinámica. (A) Manejo de la socavación dental. (B) Dispositivo de registro con material de impresión de silicona. (C) Diseño preoperatorio de la trayectoria de la fresa. (D) Calibración. (E y F) Fijación del dispositivo de referencia. (G) Registro. (H) Verificación de la posición del espacio entre el diente objetivo y la pieza de mano. (I) Colocación del dique de goma. (J–L) Navegación dinámica en tiempo real. \*Imagen obtenida de Yang et al. 2024.

d. Ventajas y Desventajas generales de las técnicas.

Las técnicas de Endodoncia Guiada actualmente se utilizan para poder facilitar el manejo de casos endodónticos difíciles y de esta manera acceder a los conductos radiculares, disminuir el tiempo de tratamiento, los riesgos iatrogénicos y la pérdida de tejido dentario, que pueden afectar el pronóstico del diente (3,8,23).

Connert et al. demostraron que hay cinco veces más pérdida de tejido en la preparación de cavidades de acceso convencional en comparación con la preparación de cavidades de acceso guiado. Esta eliminación excesiva produce una disminución de la resistencia a la fractura y deformabilidad, puesto que está correlacionada con la biomecánica del diente contra las fuerzas oclusales (20)

Algunos beneficios de la técnica de navegación estática es que son más accesibles y permiten una ventaja para operadores sin experiencia ya que al utilizarlas el operador no se puede desviar de la dirección planificada. (21) Pese a esto, una desventaja inherente es que una vez planificado, el proceso no se puede alterar. (20)

Otras desventajas son, el costo de producción y el tiempo que requiere su planificación. Además no es posible utilizarla en pacientes con apertura disminuida o en regiones del segundo molar ya que el acceso es pobre. (24)

Por otra parte, algunos beneficios de la técnica de navegación dinámica son que se puede realizar todo el procedimiento en una cita, ofrece mayor seguridad al permitir verificar la precisión de la guía in vivo, se puede utilizar en un espacio interoclusal limitado y permiten el uso de diferentes tipos de fresas dentales, a diferencia de las guías endodónticas estáticas que permiten el uso de sólo una fresa. (21)

<b>Característica</b>	<b>Navegación Estática</b>	<b>Navegación Dinámica</b>
<b>Costo</b>	Bajo (resina 3D)	Alto (software/sensores)
<b>Flexibilidad</b>	Nula (plan cerrado)	Alta (ajustes en vivo)
<b>Apertura bucal</b>	Requiere apertura amplia	Funciona con apertura limitada
<b>Curva de aprendizaje</b>	Rápida	Moderada/Lenta

**Tabla 1:** Tabla comparativa Endodoncia guiada Estática vs Dinámica.

## **Objetivos:**

Objetivo principal:

Identificar mediante una revisión narrativa la precisión del uso de guías endodónticas 3D planificadas digitalmente en el acceso endodóntico de dientes mineralizados.

Objetivos específicos:

- Identificar las ventajas y desventajas del uso de guías endodónticas 3D en dientes mineralizados.
- Determinar cuál de los sistemas investigados es más eficiente en la localización del conducto radicular.

## **Materiales y métodos**

Diseño de estudio

El estudio corresponde a una revisión narrativa de la literatura, enfocado en la recolección, análisis e interpretación de información científica previamente publicada.

Pregunta de investigación.

Para estructurar la pregunta de investigación, se utilizó el formato PIO, adecuado para estudios descriptivos que no requieren comparación entre intervenciones. Siendo los elementos los siguientes:

<b>P</b>	Dientes mineralizados
<b>I</b>	Uso de guías endodónticas 3D planificadas digitalmente en el acceso endodóntico.
<b>O</b>	Precisión del uso de guías endodónticas.

**Tabla 2:** Pregunta PIO.

Estructurando así la pregunta: ¿Es el uso de guías endodónticas 3D planificadas digitalmente preciso en el acceso endodóntico de dientes mineralizados?

#### Estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo una revisión narrativa de la literatura biomédica a nivel mundial, centrada en publicaciones realizadas durante los últimos diez años (2015-2025).

Para la recolección de datos, se realizó una búsqueda en diversas bases de datos científicas, incluyendo MEDLINE, Scopus y Web of Science.

La estrategia de búsqueda empleó una amplia gama de sinónimos y términos relacionados, combinados mediante los operadores booleanos “OR” y “AND”, tanto en formato de texto libre como a través de términos controlados (MESH en MEDLINE (Pubmed)).

Para cada una de las palabras clave se usaron descriptores como:

<b>P:</b> Dientes mineralizados	<b>I:</b> Uso de guías endodónticas 3D planificadas digitalmente	<b>R:</b> Precisión
Pulp canal obliteration	Guided Endodontics	Precision
Canal obliteration	Guided Access	Accuracy
Pulp obliteration	Dynamic navigation	

Pulp canal calcification	Static navigation	
Calcification	Computer-aided navigation techniques	
	Computer-assisted treatment	
	Image-guided treatment	
	"Navigation system"	

**Tabla 3:** Términos tesauros utilizados en la búsqueda bibliográfica

La estrategia de búsqueda para cada buscador se expresa en la Tabla 4:

Buscador	Estrategia de búsqueda
Pubmed	((("Pulp canal obliteration"[All Fields] OR "Canal obliteration"[All Fields] OR "Pulp obliteration"[All Fields] OR "Pulp canal calcification"[All Fields] OR ("calcific"[All Fields] OR "calcificated"[All Fields] OR "calcification, physiologic"[MeSH Terms] OR ("calcification"[All Fields] AND "physiologic"[All Fields]) OR "physiologic calcification"[All Fields] OR "calcifications"[All Fields] OR "calcinosis"[MeSH Terms] OR "calcinosis"[All Fields] OR "calcification"[All Fields])) AND ("Guided endodontics"[All Fields] OR "Guided access"[All Fields] OR "Dynamic navigation"[All Fields] OR "Static navigation"[All Fields] OR "Computer-aided navigation techniques"[All Fields] OR "Computer-assisted treatment"[All Fields] OR "Image-guided treatment"[All Fields] OR "Navigation system"[All Fields]) AND ("Endodontic access cavities"[All Fields] OR "Access cavity"[All Fields]) AND ("precise"[All Fields] OR "precised"[All Fields] OR "precisely"[All Fields] OR "preciseness"[All Fields] OR "precises"[All Fields] OR "precision"[All Fields] OR "precisions"[All Fields] OR ("accuracies"[All Fields] OR "accuracy"[All Fields]))) AND (y_10[Filter])
Scopus	( TITLE-ABS-KEY ( "Pulp canal obliteration" OR "Canal obliteration" OR "Pulp obliteration" OR "Pulp canal calcification" OR Calcification ) AND TITLE-ABS-KEY ( "Guided endodontics" OR "Guided access" OR "Dynamic navigation" OR "Static navigation" OR "Computer-aided navigation techniques" OR "Computer-assisted treatment" OR "Image-guided treatment" OR "Navigation system" )

	AND TITLE-ABS-KEY ( "Endodontic access cavities" OR "Access cavity" ) AND TITLE-ABS-KEY ( Precision OR Accuracy ) ) AND PUBYEAR > 2015 AND PUBYEAR < 2026
Web of Science	Precision OR Accuracy (Topic) AND "Endodontic access cavities" OR "Access cavity" (Topic) AND "Guided endodontics" OR "Guided access" OR "Dynamic navigation" OR "Static navigation" OR "Computer-aided navigation techniques" OR "Computer-assisted treatment" OR "Image-guided treatment" OR "Navigation system" (Topic) AND "Pulp canal obliteration" OR "Canal obliteration" OR "Pulp obliteration" OR "Pulp canal calcification" OR Calcification (Topic) and 2025 or 2024 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 or 2019 or 2018 or 2017 or 2016 (Publication Years)

**Tabla 4:** Estrategias de búsqueda por buscador bibliográfico.

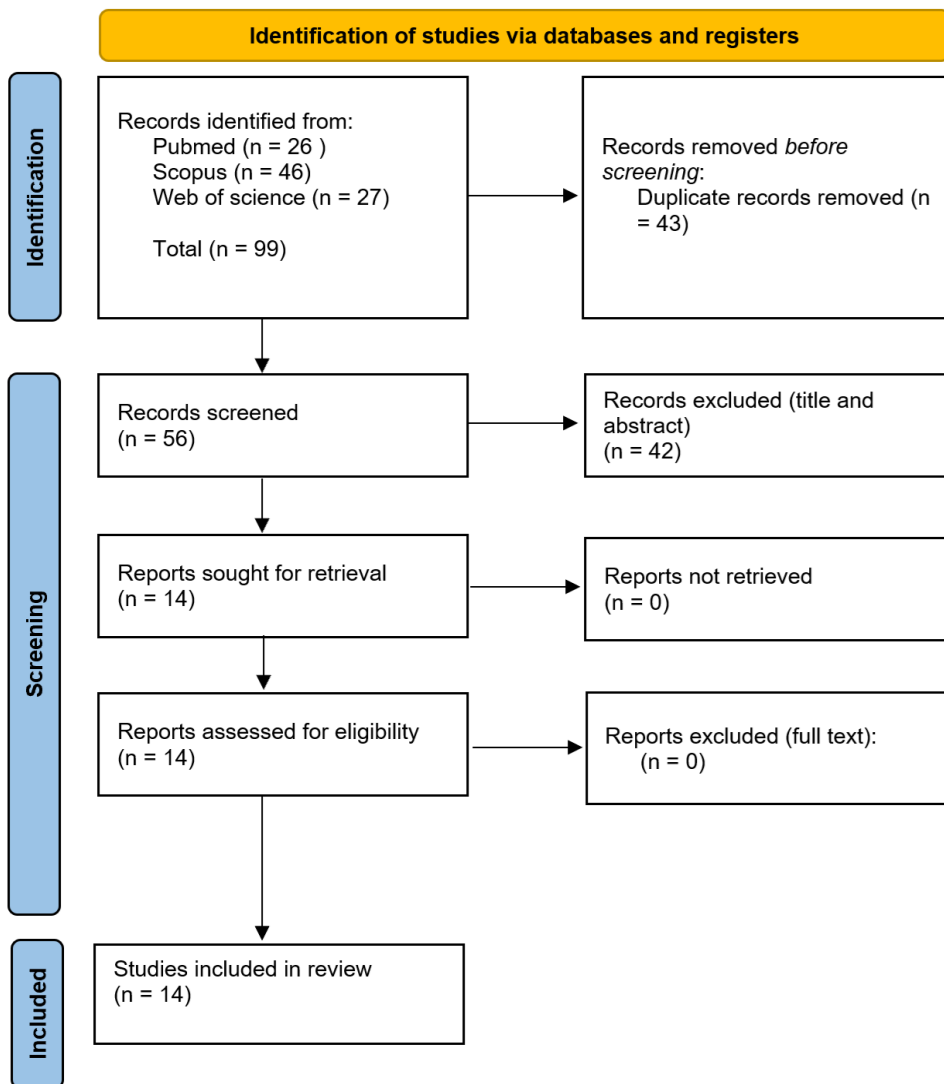
#### Selección de estudios

Luego de haber extraído los datos se eliminaron los duplicados.

Posteriormente la selección inicial se realizó en base a los resúmenes y títulos de la información disponible identificando los artículos potencialmente elegibles.

A los resúmenes seleccionados se le aplicaron los criterios de inclusión (Tabla 6), y en caso de que no se pueda tomar una decisión basada en la información del resumen, se marcó como «incierto» y requirieron la evaluación del texto completo para tomar la decisión final.

Una vez definidos, se analizó el texto completo de cada uno de los artículos seleccionados para posteriormente aplicar los criterios de exclusión (Tabla 6). Obteniendo de esta forma todos los artículos incluidos en la revisión (Tabla 5).



**Tabla 5:** Flujograma PRISMA

## Criterios de elegibilidad

Obteniendo de esta forma todos los artículos incluidos en la revisión narrativa.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Estudios de tipo analítico.</li><li>○ Estudios de accesos endodónticos con guías en dientes mineralizados.</li><li>○ Estudios en humanos, in vivo e in vitro.</li><li>○ Artículos desde el año 2015 hasta 2025.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Cartas al editor, estudios de corte transversal, reporte de casos, revisiones sistemáticas.</li></ul>

**Tabla 6:** Criterios de inclusión y exclusión.

## Extracción de datos

A continuación se muestra la Tabla de extracción de datos correspondiente a los estudios seleccionados. En ella se resumen los elementos centrales de cada investigación, incluyendo el tipo de acceso endodóntico empleado, las características de los dientes tratados, los grupos comparativos, las variables medidas y los resultados obtenidos.

Esta organización permite visualizar de forma comparativa el desempeño de las técnicas guiadas frente al acceso convencional, especialmente en dientes con mineralización u obliteración del conducto. (Tabla 7)

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo de estudio</b>	<b>Tamaño muestral</b>	<b>Tipo de diente</b>	<b>Tipo de acceso endodóntico</b>	<b>Grupos comparados</b>	<b>Variables analizadas</b>	<b>Hallazgos principales</b>
<b>Buchgreitz et al.</b>	2016	Estudio vivo	48 dientes	Dientes anteriores y posteriores	Acceso guiado estático	Un solo grupo	Distancia entre la trayectoria planificada y la trayectoria real	La desviación fue de entre 0,31 y 0,49 milímetros, dentro del margen clínicamente seguro. No ocurrieron perforaciones ni desviaciones riesgosas.
<b>Connert et al.</b>	2017	Estudio in vitro	60 dientes	Incisivos mandibulares	Acceso guiado estático miniaturizado	Un solo grupo	Desviación lineal, desviación angular, tiempo operatorio	La desviación lineal fue menor a 0,34 mm y la desviación angular cercana a 1,6 grados. El tiempo promedio de preparación fue de aproximadamente 10 minutos y el procedimiento no dependió de la experiencia del operador.
<b>Jain et al.</b>	2020	Estudio in vitro	138 conductos (3 modelos de maxilares y mandíbula compuesto por 84 dientes)	Dientes anteriores y posteriores	Acceso guiado dinámico	Un solo grupo	Desviación tridimensional, desviación angular, tiempo de preparación	Se lograron localizar conductos mineralizados con una desviación tridimensional promedio de 1,3 mm y angular cercana a 1,7 grados. El tiempo de perforación fue inferior a un minuto por acceso.
<b>Dianat et al.</b>	2020	Estudio vivo	60 dientes	Dientes con conductos mineralizados	Acceso guiado dinámico comparado con	Acceso guiado dinámico versus acceso libre	Desviación, dentina remanente, tiempo de preparación,	El acceso guiado dinámico presentó menor desviación, mayor preservación de dentina y menos errores técnicos que la técnica libre. El acceso libre

					técnica libre		complicaciones	tuvo mayor riesgo de perforación.
<b>Jain et al.</b>	2020	Estudio in vitro	40 dientes	Incisivos impresos en tres dimensiones	Acceso guiado dinámico comparado con técnica libre	Acceso guiado dinámico versus acceso libre	Volumen de dentina removida, centrado de la trayectoria, tiempo	El acceso guiado dinámico removió aproximadamente 27 milímetros cúbicos de dentina frente a 41 milímetros cúbicos en la técnica libre. Además fue más rápido y con trayecto más centrado.
<b>Su et al.</b>	2021	Estudio vivo	84 dientes	Incisivos, premolares y molares	Acceso guiado estático	Un solo grupo	Desviación coronal, desviación apical, desviación angular, accesibilidad del conducto	La desviación fue mayor en molares. La desviación angular fue el mejor predictor del éxito para alcanzar el conducto.
<b>Zhang et al.</b>	2022	Estudio in vitro	58 dientes	Premolares	Acceso guiado estático comparado con fresado rotatorio convencional	Acceso guiado estático versus instrumentación rotatoria convencional	Desviación lineal, desviación angular, aumento de temperatura radicular	El acceso guiado produjo una desviación aproximada de 0,30 mm y 3,6 grados, además de un incremento térmico cercano a 5 °C, menor que los instrumentos rotatorios tradicionales.
<b>Torres et al.</b>	2023	Estudio in vitro	132 dientes	Dientes anteriores y posteriores	Acceso guiado dinámico	Tres operadores	Desviación lineal, desviación angular, tasa de localización	Se obtuvo un 93 % de accesos exitosos con desviación promedio menor a 3 grados. No hubo diferencias entre operadores con distinta experiencia clínica.
<b>Haarmann et al.</b>	2023	Estudio vivo	67 dientes	Premolares y molares	Acceso guiado estático	Un solo grupo	Desviación lineal y angular, tasa de localización	La localización del conducto fue exitosa en el 100 % de las muestras. La desviación lineal fue entre 0,24 y 0,31 mm y la desviación angular alrededor de 1,4 grados.

<b>García-Franco et al.</b>	2024	Estudio experimental vivo	40 dientes	Dientes anteriores y posteriores	Acceso guiado estático, guiado dinámico, asistido por realidad aumentada y acceso libre	Técnica guiada estática vs guiada dinámica vs realidad aumentada vs acceso libre	Desviación coronal, apical y angular	La tecnología de realidad aumentada mostró la menor desviación. La navegación dinámica fue más precisa que la estática. El acceso libre tuvo los peores resultados.
<b>Bansal et al.</b>	2025	Estudio in vitro	20 dientes	Premolares y molares	Acceso guiado estático comparado con técnica convencional	Acceso guiado estático versus acceso convencional	Pérdida de estructura dentaria, desviación angular	La endodoncia guiada redujo a la mitad la pérdida de dentina (17 mm <sup>3</sup> vs 39 mm <sup>3</sup> ) y disminuyó la desviación angular de 13 grados a 5 grados.
<b>Restrepo-Restrepo et al.</b>	2025	Estudio experimental vivo	120 dientes	Dientes anteriores y posteriores	Acceso guiado dinámico	Operador experto vs operador sin experiencia	Desviación, tiempo, eventos adversos	Ambos operadores lograron precisión equivalente. El operador sin experiencia requirió mayor tiempo y presentó más errores iniciales.
<b>Torres et al.</b>	2025	Ensayo clínico controlado	133 dientes	Dientes con obliteración del conducto pulpar	Acceso guiado estático comparado con técnica libre	Acceso guiado estático versus acceso libre	Conducto localizado, perforaciones	En el acceso guiado sólo falló un caso y no hubo perforaciones. En la técnica libre hubo 7 conductos no localizados y 7 perforaciones.
<b>Li et al.</b>	2025	Ensayo clínico aleatorio	80 dientes	Dientes con obliteración del	Acceso guiado estático comparado	Acceso guiado estático versus acceso	Desviación coronal, desviación angular, éxito	El acceso guiado mostró 0,14 mm de desviación coronal versus 0,62 mm en la técnica libre. Ambos grupos tuvieron

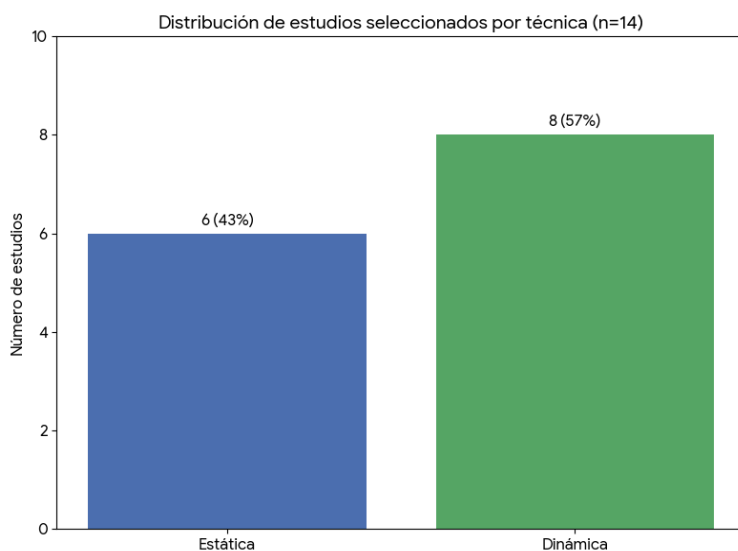
	rizado		condu cto pulpar	ado con técnica libre	libre	clínico al año	el mismo éxito clínico después de un año.
--	--------	--	------------------------	--------------------------------	-------	-------------------	--

**Tabla 7:** Extracción de datos.

## Resultados

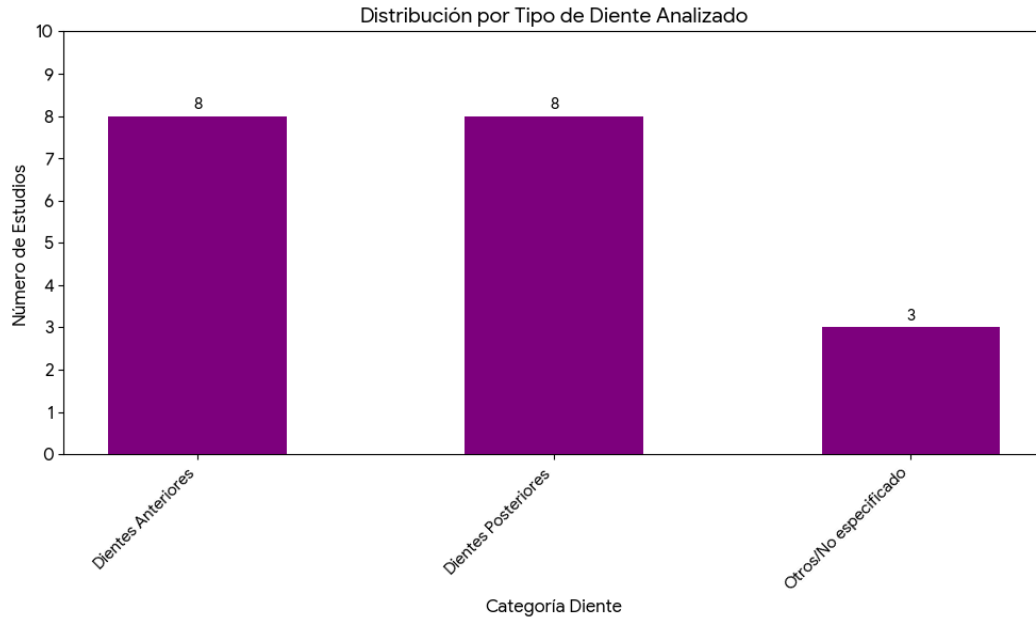
Se incluyeron catorce estudios que evaluaron el uso de guías endodónticas 3D en dientes con distintos grados de mineralización pulpar. Los estudios emplearon navegación dinámica o estática y fueron desarrollados en modelos in vitro, ex vivo o clínicos, sobre dientes anteriores, premolares y molares con mineralización de los conductos confirmada radiográficamente o mediante tomografía. Las variables reportadas con mayor frecuencia fueron desviación lineal tridimensional, desviación angular, tiempo operatorio, pérdida dentinaria y localización efectiva del conducto radicular.

De los 14 estudios seleccionados, se observa que el 43% (n=6) corresponden a Endodoncia Guiada Estática, mientras que el 57% (n=8) analizan la Navegación Dinámica.



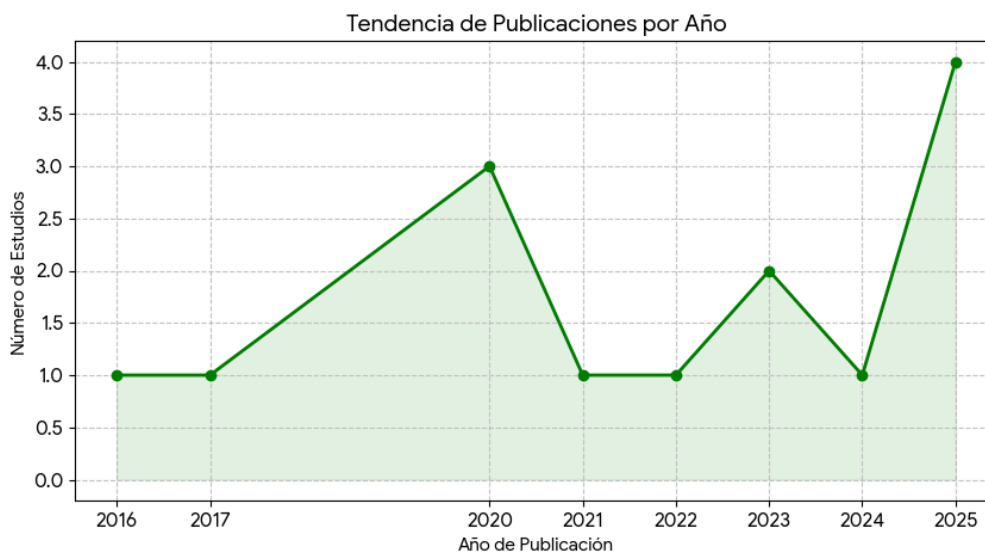
**Gráfico 1:** Distribución de estudios seleccionados por tipo de técnica de Endodoncia Guiada.

En cuanto a la distribución por tipo de diente analizado podemos observar que la misma cantidad de estudios analizó dientes anteriores o posteriores, mientras que sólo 3 estudios no especificaron el tipo de diente que analizaron.



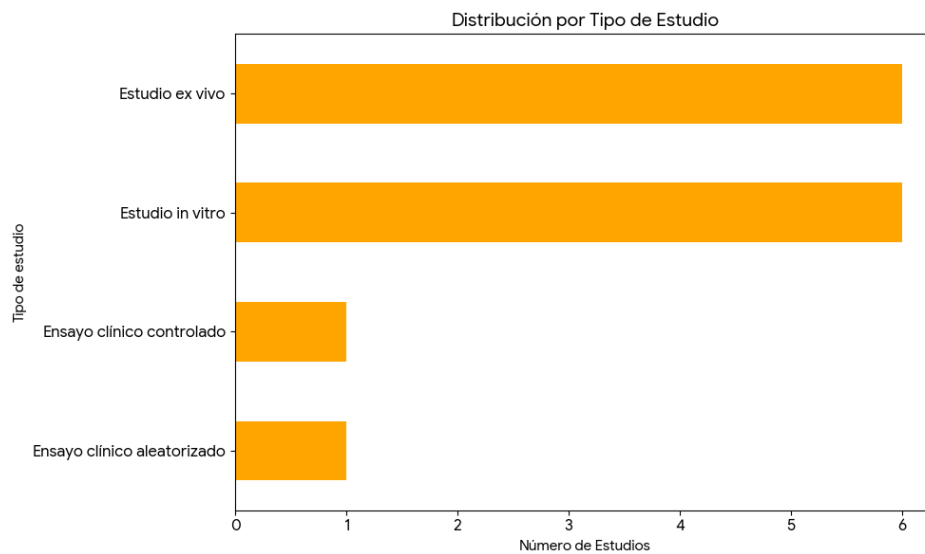
**Gráfico 2:** Distribución por tipo de diente analizado.

Existe una tendencia creciente en las publicaciones; el 70% de los estudios fueron publicados entre 2020 y 2024, lo que demuestra la vigencia tecnológica del tema.



**Gráfico 3:** Tendencia de publicaciones por año.

En cuanto a la distribución por tipo de estudio, podemos observar que hay mayor cantidad de estudios ex vivo e in vitro que ensayos clínicos.



**Gráfico 4:** Distribución por tipo de estudio.

Por último, el 100% de los estudios de técnica estática reportan una localización exitosa del conducto, mientras que en la dinámica existe un margen de error del 2-5% relacionado con la curva de aprendizaje del operador.

## 1. NAVEGACIÓN DINÁMICA

### 1.1 Estudios in vitro

Jain et al. evaluaron 48 dientes impresos en 3D, con simulación de mineralización completa, utilizando un sistema de navegación dinámica con seguimiento óptico. Se reportó una desviación tridimensional media de 1,3 mm ( $\pm 0,4$  mm) y una desviación angular de 1,7°, con tiempo de acceso inferior a 1 minuto por pieza (26).

En su segundo estudio, utilizando el mismo sistema, los autores compararon la navegación con acceso libre mediante fresado convencional. El grupo guiado obtuvo pérdida dentinaria de 27,01 mm<sup>3</sup>, mientras que el grupo libre perdió 41,46 mm<sup>3</sup> de

estructura coronaria y radicular. La trayectoria de fresado fue significativamente más centrada en el grupo guiado (27).

Torres et al. analizaron la influencia del operador en la precisión dinámica utilizando dientes humanos extraídos con simulación de mineralización. Se asignaron tres operadores con distinta experiencia (novato, generalista, especialista). La localización exitosa del conducto se logró en 93,3 % de las muestras, sin diferencias significativas en desviación angular entre operadores, todas menores a 3°. Se observaron diferencias únicamente en tiempo de ejecución (30).

En conjunto, los estudios in vitro con navegación dinámica incluyeron incisivos, premolares y molares impresos o de humanos, con grados de mineralización homogéneamente definidos mediante protocolos digitales. Los valores de desviación fueron consistentes entre estudios.

## 1.2 Estudios ex vivo

Dianat et al. evaluaron 36 dientes humanos con mineralización severa. El acceso mediante navegación dinámica presentó desviación lineal significativamente menor que el acceso libre (valor exacto no reportado en mm, pero estadísticamente significativo), junto con menor desviación angular, menor volumen dentinario eliminado y ausencia de perforaciones radiculares. El grupo libre presentó desviaciones más amplias y eventos de desalineación. (28).

Restrepo et al. evaluaron navegación dinámica en dientes humanos extraídos mineralizados, comparando desempeño entre operadores con distinto nivel de experiencia. Se reportó precisión equivalente, especialmente en desviación coronal y apical. El operador no especializado requirió mayor tiempo operatorio, pero obtuvo desviación lineal dentro del mismo rango que el especialista (29).

En esta categoría, los estudios incluyeron principalmente incisivos y premolares, y todos utilizaron tomografía computarizada como método confirmatorio del acceso postoperatorio.

### 1.3 Estudios clínicos

Torres et al. evaluaron la navegación dinámica en dientes con mineralización de los conductos confirmada por CBCT, comparando acceso guiado y acceso libre. El grupo guiado fracasó en un solo caso, mientras que el grupo control presentó siete conductos no localizados y siete perforaciones, registradas radiográficamente. El tiempo operatorio fue menor en el grupo guiado y se reportó ausencia de complicaciones postoperatorias (31).

Este estudio clínico incluyó incisivos, premolares y molares con mineralización total o parcial documentada.

## 2. NAVEGACIÓN ESTÁTICA

### 2.1 Estudios in vitro

Buchgreitz et al. utilizaron guías impresas en resina basadas en fusión CBCT–escaneo óptico. Se evaluaron dientes humanos anteriores y posteriores, obteniendo desviaciones lineales entre 0,31 y 0,49 mm en los puntos de entrada y destino, dentro del margen planificado. No se reportaron perforaciones (32).

Connert et al. analizaron la precisión de guías miniaturizadas ("microguided"). La desviación lineal fue de 0,34 mm ( $\pm 0,1$  mm) y la desviación angular  $1,6^\circ$ , en incisivos mandibulares impresos (33).

Bansal et al. compararon guía estática y acceso convencional en premolares y molares. El grupo guiado presentó pérdida dentinaria de  $17,37 \text{ mm}^3$  frente a  $39,85 \text{ mm}^3$  del grupo libre. La desviación angular disminuyó de  $13^\circ$  en la técnica libre a  $5^\circ$  con guía estática. No se reportaron errores de perforación en la técnica guiada (34).

Zhang et al. aplicaron guías estáticas en premolares humanos extraídos, registrando desviación lineal media de 0,30 mm, desviación angular de  $3,6^\circ$  y aumento térmico menor que la instrumentación convencional (37).

## 2.2 Estudios ex vivo

Haarmann et al. evaluaron guías estáticas en molares y premolares mineralizados. Se logró 100 % de localización de los conductos, con desviaciones lineales entre 0,24 y 0,31 mm y desviación angular promedio de 1,4° (35).

Su et al. evaluaron precisión según tipo de diente, y reportaron que los molares presentaron desviaciones superiores a incisivos y premolares, manteniéndose dentro de los límites planificados. No se registraron perforaciones ni falsos accesos (36).

García-Franco et al. compararon guía estática, navegación dinámica, realidad aumentada y acceso libre. La menor desviación correspondió a realidad aumentada, seguida de navegación dinámica y guía estática. La técnica libre presentó los valores más altos de desviación lineal y angular (38).

## 2.3 Estudios clínicos

Li et al. aplicaron guías estáticas en dientes con obliteración pulpar total o subtotal. La desviación coronal media fue de 0,14 mm en el grupo guiado, comparada con 0,62 mm en la técnica libre. La desviación angular no se reportó como variable numérica pero fue significativamente menor en el grupo guiado. El seguimiento clínico a 12 meses no mostró diferencias en sintomatología o fracaso terapéutico entre grupos (39).

Este estudio incluyó premolares y molares, y confirmó la localización exitosa del sistema de conductos en todos los casos guiados.

## 3. Resultados según tipo de diente

Los estudios evaluaron incisivos, premolares, molares y dientes con mineralización de los conductos.

La desviación lineal reportada fue menor en incisivos, intermedia en premolares y

mayor en molares, para ambos sistemas guiados.

Los estudios clínicos incluyeron exclusivamente piezas con obliteración demostrada, con tasas de localización del conducto del 100 % para navegación estática y 93–100 % para navegación dinámica.

## **Discusión**

Los resultados de esta revisión muestran que la navegación endodóntica guiada mediante planificación tridimensional, tanto en su modalidad estática como dinámica, presenta niveles de precisión superiores al acceso convencional en dientes con mineralización u obliteración del conducto radicular. En los catorce estudios incluidos se observó que la navegación estática alcanzó desviaciones lineales promedio entre 0,24 y 0,49 mm, mientras que la navegación dinámica presentó valores cercanos a 1,2–1,4 mm, manteniendo desviaciones angulares entre 1,6° y 3° (26–39). Estas cifras confirman que ambos sistemas permiten dirigir la fresa a lo largo del eje anatómico previsto con errores dentro del margen clínico seguro, aun en dientes con lumen radicular no visible radiográficamente.

Un hallazgo reiterado es la alta tasa de localización del conducto radicular obtenida mediante guía. En esta revisión, la navegación estática logró 100 % de localización de los conductos en todos los estudios ex vivo y clínicos (32–39), mientras que la navegación dinámica mostró valores de 93 % a 100 %, incluso cuando el operador carecía de experiencia previa (28–31). Estos resultados concuerdan con los reportes clínicos de Connert et al., donde se obtuvo éxito del 97,4 % en dientes con obliteración completa tratados mediante guía estática (40), y con la serie de Van der Meer en incisivos, donde se localizó el conducto en 36 de 37 casos (51).

La menor pérdida dentinaria observada en accesos guiados representa otro aspecto significativo. Bansal et al. informaron que el volumen dentinario eliminado se redujo de 39,85 mm<sup>3</sup> en la técnica libre a 17,37 mm<sup>3</sup> mediante navegación estática en molares (34), mientras que Jain et al. observaron reducciones comparables con sistemas dinámicos (27). Esto ha sido corroborado mediante análisis histomorfológicos que demuestran preservación estructural superior al 90 % en accesos guiados tipo microtúnel (46). El beneficio conservador de las guías dentales

es clínicamente relevante, ya que la resistencia del diente tratado depende de la integridad radicular remanente, especialmente en dientes sometidos a fuerzas funcionales o restauraciones indirectas.

Los resultados clínicos también respaldan estas ventajas. El único ensayo clínico comparativo incluido reportó solo un fracaso en el grupo guiado frente a catorce fallos en el grupo libre, incluyendo no localización de los conductos y perforaciones iatrogénicas (31). Li et al. documentaron desviaciones coronales promedio de 0,14 mm, con 100 % de localización radicular en dientes con mineralización avanzada (39). Dichos resultados coinciden con el metaanálisis de García-Castillo et al., donde la navegación guiada redujo un 85 % el riesgo de perforación respecto del acceso convencional (45).

Al comparar ambas modalidades, la navegación estática presenta mayor precisión lineal debido a su carácter restrictivo, mientras que la navegación dinámica permite visualización intraoperatoria en tiempo real, corrección de trayectoria y menor tiempo de ejecución (26-31,43). Esta diferencia ha llevado a proponer que la navegación estática debe priorizarse en accesos ultraconservadores y casos de alta precisión, mientras que la navegación dinámica resulta apropiada para casos con anatomías complejas o múltiples trayectorias posibles (44).

Un aspecto relevante presente en varios estudios es la independencia de la experiencia operatoria. Dianat et al. y Restrepo-Restrepo et al. demostraron que operadores sin entrenamiento previo obtuvieron valores de precisión comparables a los de especialistas cuando utilizaron navegación guiada (28,29). Estudios formativos también confirman que estudiantes logran accesos equivalentes a los de expertos cuando la ejecución es asistida digitalmente (50), lo que refuerza el potencial educativo de esta tecnología.

La literatura complementaria demuestra expansión de las aplicaciones de navegación guiada en endodoncia. Se han reportado usos exitosos en retirada dirigida de instrumentos fracturados (53), reparación guiada de perforaciones coronarias (54), acceso a molares con conducto mineralizado no visible (52) y cirugía endodóntica asistida por guía (48,49). En línea con ello, autores recientes proponen la integración futura de planificación 3D, navegación dinámica y realidad

aumentada dentro de un marco conceptual denominado “endodoncia aumentada” (44).

En conjunto, los hallazgos de esta revisión respaldan el cumplimiento del objetivo planteado, dado que la evidencia disponible demuestra de manera consistente que las guías endodónticas 3D permiten realizar accesos precisos, conservadores y reproducibles en dientes mineralizados, con tasas clínicas de localización equivalentes o superiores al 95 % y errores operatorios considerablemente inferiores a los de la técnica convencional.

#### Limitaciones de la evidencia

La evidencia disponible presenta limitaciones importantes:

1. Predominio de estudios in vitro y ex vivo, con solo dos ensayos clínicos controlados publicados (31,39).
2. Heterogeneidad metodológica, especialmente en software, protocolos de fusión CBCT–escáner, tamaño de fresa y definición de mineralización.
3. Ausencia de estandarización de métricas, pues algunos estudios reportan error tridimensional, otros desviación angular o volumen dentinario.
4. Falta de seguimiento clínico a largo plazo, por lo que no es posible afirmar que la mayor precisión se traduzca en mayor supervivencia endodóntica.
5. Posible sesgo de publicación, dado que predominan estudios exitosos y pocos reportes de fallo tecnológico.

#### Implicancias clínicas y de investigación futura

Los hallazgos de esta revisión respaldan la incorporación de guías endodónticas navegadas como una estrategia clínica segura y predecible para el manejo de

dientes con mineralización u obliteración pulpar, al demostrar una superioridad objetiva en precisión, conservación dentinaria y localización de los conductos respecto de la técnica libre. Su aplicación es especialmente pertinente en casos de trauma dental, mineralización senil avanzada, retratamientos con pérdida de referencias anatómicas, y en situaciones donde el riesgo de perforación iatrogénica es elevado. A nivel profesional, la navegación digital podría modificar los estándares de acceso endodóntico, favoreciendo enfoques ultraconservadores y protocolos basados en imagenología 3D. Sin embargo, su adopción requiere infraestructura radiológica, capacitación clínica y análisis de costo-beneficio según el contexto asistencial. En cuanto a su desarrollo futuro, la tendencia apunta hacia sistemas híbridos que integren navegación dinámica, planificación automatizada mediante inteligencia artificial, realidad aumentada intraoperatoria y biomateriales guiados para reparación de perforaciones y reintervenciones. La validación clínica de estas tecnologías, así como su impacto sobre la longevidad del tratamiento endodóntico, constituye una de las principales líneas de investigación a desarrollar en los próximos años.

## Conclusión

El uso de guías endodónticas 3D planificadas digitalmente ha demostrado ser un método altamente preciso para el acceso endodóntico en dientes mineralizados. La evidencia analizada confirma que tanto la navegación estática como la dinámica permiten dirigir la trayectoria de perforación dentro de márgenes clínicos seguros, logrando tasas de localización del conducto radicular equivalentes o superiores al 93 % y reduciendo de manera significativa los errores iatrogénicos en comparación con la técnica de acceso libre.

Las principales ventajas del uso de guías endodónticas 3D radican en su alta previsibilidad y capacidad conservadora, reduciendo considerablemente la pérdida de tejido dentinario y el riesgo de perforaciones radiculares, independientemente de la experiencia previa del operador clínico. La guía estática destaca por otorgar la mayor precisión lineal tridimensional debido a su naturaleza restrictiva, mientras que la guía dinámica ofrece la ventaja de visualizar y ajustar la trayectoria en tiempo real. Por otro lado, sus desventajas incluyen la necesidad de infraestructura radiológica y digital avanzada (CBCT y escáner), además de mayor costo y capacitación. En el caso específico de la técnica estática, sus limitaciones se centran en la imposibilidad de alterar la trayectoria una vez planificada y en la dificultad de uso en el sector posterior o en pacientes con apertura bucal limitada.

El sistema más eficiente en la localización del conducto radicular varía según el enfoque clínico. En términos de confiabilidad absoluta y precisión lineal estricta, la navegación estática es el sistema más eficiente, al registrar un 100 % de éxito en la localización de los conductos en los estudios evaluados. No obstante, al evaluar la eficiencia operativa frente a anatomías complejas que requieren múltiples trayectorias, menor tiempo de ejecución clínico y flexibilidad de ajuste intraoperatorio, la navegación dinámica demuestra ser altamente eficiente, manteniendo tasas de localización de entre el 93 % y el 100 %.

## Bibliografía

1. Yang X, Zhang Y, Chen X, Huang L, Qiu X. Limitations and Management of Dynamic Navigation System for Locating Calcified Canals Failure. *J Endod.* 2024 Jan;50(1):96-105. doi: 10.1016/j.joen.2023.10.010.
2. Dianat O, Nosrat A, Tordik PA, Aldahmash SA, Romberg E, Price JB, Mostoufi B. Accuracy and Efficiency of a Dynamic Navigation System for Locating Calcified Canals. *J Endod.* 2020 Nov;46(11):1719-1725. doi: 10.1016/j.joen.2020.07.014.
3. Kulinkovych-Levchuk K, Pecci-Lloret MP, Castelo-Baz P, Pecci-Lloret MR, Oñate-Sánchez RE. Guided Endodontics: A Literature Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Oct 26;19(21):13900. doi: 10.3390/ijerph192113900.
4. Moreno-Rabié C, Torres A, Lambrechts P, Jacobs R. Clinical applications, accuracy and limitations of guided endodontics: a systematic review. *Int Endod J.* 2020 Feb;53(2):214-231. doi: 10.1111/iej.13216.
5. Decurcio DA, Bueno MR, Silva JA, Loureiro MAZ, Damião Sousa-Neto M, Estrela C. Digital Planning on Guided Endodontics Technology. *Braz Dent J.* 2021 Sep-Dec;32(5):23-33. doi: 10.1590/0103-6440202104740.
6. Hernández S, Rosas C, Aravena P, Barría E, Maldonado J. Endodoncia Guiada Estática, Una Opción para Obliteración del Canal Pulpar. Serie de Casos. *Int. J. Morphol.* [Internet]. 2022; 40(6): 1504-1510. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022022000601504>.
7. Tesis: Aguirre G, Niemann B. Tipos y frecuencia de accidentes endodónticos en la clínica de pregrado de endodoncia de 4to año de la escuela de Odontología de la Universidad de Valparaíso en el año 2016. [tesis de postgrado]. Valparaíso: Bibliotecas UV, Universidad de Valparaíso; 2017.
8. Jonaityte EM, Bilvinaite G, Drukteinis S, Torres A. Accuracy of Dynamic Navigation for Non-Surgical Endodontic Treatment: A Systematic Review. *J Clin Med.* 2022 Jun 15;11(12):3441. doi: 10.3390/jcm11123441.
9. Zubizarreta Á, Valle S, Montiel J, Mena J. Effect of Computer-Aided Navigation Techniques on the Accuracy of Endodontic Access Cavities: A

- Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology* (Basel). 2021 Mar 10;10(3):212. doi: 10.3390/biology10030212.
10. Connert T, Weiger R, Krastl G. Present status and future directions - Guided endodontics. *Int Endod J*. 2022 Oct;55 Suppl 4(Suppl 4):995-1002. doi: 10.1111/iej.13687.
  11. Abarca J, Barraza C, Matamala P, Mazzei G, Monardes H. Endodoncia guiada Para el manejo de Canales Obliterados, Reporte de Caso. *Int. j interdiscip. dent.* . 2021; 14( 2 ): 187-190. <http://dx.doi.org/10.4067/S2452-55882021000200187>.
  12. Chaniotis A, Sousa Dias H, Chanioti A. Negotiation of Calcified Canals. *J Clin Med*. 2024 May 4;13(9):2703. doi: 10.3390/jcm13092703. PMID: 38731233; PMCID: PMC11084956.
  13. Nisha Garg AG. *Textbook of Endodontics*. 2019
  14. Fornara R, Pisano M, Salvati G, Malvicini G, Iandolo A, Gaeta C. Management of Calcified Canals with a New Type of Endodontic Static Guide: A Case Report. *Dent J (Basel)*. 2024 Jun 3;12(6):166. doi: 10.3390/dj12060166. PMID: 38920867; PMCID: PMC11202512.
  15. Kasabwala, KA; Saumya-Rajesh, P.; Velmurugan, N.; Ashritha, M. Obliteración del canal pulpar: una revisión. *J. Ópera. Mella. Endodo.* 2020 , 5 , 6-11
  16. Montiel Nb, Lugo de Langhe Cd, Galiana Mb, Gualdoni Gm. Tratamiento endodóntico en piezas dentarias con cálculos pulpares. *Rev La Soc Endod Chile*. 2018;1–47.
  17. Ministerio de Salud de Chile. Urgencias Odontológicas Ambulatorias. Guía Clínica AUGE. 2011;46–52.
  18. Banka A, Patri G, Pradhan PK, Lath H. Comparative evaluation between guided endodontics and conventional techniques for calcific metamorphosis - A systematic review and meta-analysis. *J Conserv Dent Endod*. 2024 Sep;27(9):891-896. doi: 10.4103/JCDE.JCDE\_294\_24.
  19. Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa. Morfología del diente y preparación de la cavidad de acceso*. 10 ed. Madrid: Elsevier; 2011.
  20. Langaliya A, Kritika S, Shah A, Shah J, Mahalaxmi S. Does dynamic navigation system preserve more dentine? - A systematic review. *BMC Oral Health*. 2024 Jun 10;24(1):678. doi: 10.1186/s12903-024-04450-z.

21. Fernandez K, Espinoza X. Guided endodontics as an alternative for the management of teeth with calcified root canals: An integrative review of the literature . Res. Soc. Dev. 2021. 10; 9. doi: 10.33448/rsd-v10i9.18039.
22. Hildebrand H, Leontiev W, Krastl G, Weiger R, Dagassan-Berndt D, Bürklein S, Connert T. Guided endodontics versus conventional access cavity preparation: an ex vivo comparative study of substance loss. BMC Oral Health. 2023 Oct 4;23(1):713. doi: 10.1186/s12903-023-03436-7. PMID: 37794361; PMCID: PMC10552426.
23. Huth KC, Borkowski L, Liebermann A, Berlinghoff F, Hickel R, Schwendicke F, Reymus M. Comparing accuracy in guided endodontics: dynamic real-time navigation, static guides, and manual approaches for access cavity preparation - an in vitro study using 3D printed teeth. Clin Oral Investig. 2024 Mar 14;28(4):212. doi: 10.1007/s00784-024-05603-8. PMID: 38480541; PMCID: PMC10937753.
24. Chong BS, Dhesi M, Makdissi J. Computer-aided dynamic navigation: a novel method for guided endodontics. Quintessence Int. 2019;50(3):196-202. doi: 10.3290/j.qi.a41921. PMID: 30773571.
25. Puri A, Abraham D, Gupta A. Impact of Guided Endodontics on the Success of Endodontic Treatment: An Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses. Cureus. 2024 ;16(9):e68853. doi: 10.7759/cureus.68853.
26. Jain SD, Carrico CK, Bermanis I, Zubizarreta-Macho Á. 3-Dimensional accuracy of dynamic navigation technology in locating calcified canals. J Endod. 2020;46(10):S55-S61. doi:10.1016/j.joen.2020.06.019
27. Jain SD, Zubizarreta-Macho Á, Carrico CK, Bermanis I. Dynamically navigated versus freehand access cavity preparation: a comparative study on substance loss using 3-dimensional printed teeth. J Endod. 2020;46(11):1675-1681. doi:10.1016/j.joen.2020.08.019
28. Dianat O, Gupta S, Price JB, Mostafa N, Yu Q, Wang Z, et al. Accuracy and efficiency of a dynamic navigation system for locating calcified canals. J Endod. 2020;46(10):1719-1725. doi:10.1016/j.joen.2020.07.027
29. Restrepo-Restrepo FA, Sánchez-Jaramillo MJ, Plotino G. Computer-assisted dynamic navigation in severely calcified canals: a task-centered performance and deviation analysis. Int Endod J. 2025.

30. Torres A, Zubizarreta-Macho Á, Burgueno-Madsen F, et al. Dynamic navigation: laboratory study on accuracy and operator experience. *Int Endod J.* 2023;56(8):852-861. doi:10.1111/iej.13977
31. Torres A, Burgueno-Madsen F, Zubizarreta-Macho Á, et al. Clinical outcome of guided endodontics versus freehand drilling in pulp canal obliteration. *Clin Oral Investig.* 2025;ahead of print.
32. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Bjørndal L. Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans: an ex vivo study. *Int Endod J.* 2016;49(4):389-398. doi:10.1111/iej.12463
33. Connert T, Zehnder MS, Weiger R, Krastl G. Microguided endodontics: accuracy of a miniaturized technique for apically extended access cavity preparation. *Int Endod J.* 2017;50(5):480-489. doi:10.1111/iej.12641
34. Bansal R, Hegde V, et al. Comparison of tooth substance loss and angle deviation in static-guided endodontics and conventional access cavity preparation: an in vitro study. *J Endod.* 2025; ahead of print.
35. Haarmann S, Opalinska A, et al. Accuracy of guided endodontics in posterior teeth. *Clin Oral Investig.* 2023;27(5):2157-2165. doi:10.1007/s00784-022-04764-5
36. Su Y, Wang H, et al. Guided endodontics: accuracy of access cavity preparation and discrimination between incisors, premolars, and molars. *J Dent.* 2021;108:103623. doi:10.1016/j.jdent.2021.103623
37. Zhang C, Huang Y, et al. Comparison of guided endodontic access cavity and conventional rotary instrumentation in premolars. *BMC Oral Health.* 2022;22:381. doi:10.1186/s12903-022-02448-z
38. García-Franco M, Mendieta-Echavarri S, et al. Endodontic access with different computer navigation systems in calcified root canals. *J Endod.* 2024;50(1):45-53. doi:10.1016/j.joen.2023.10.012
39. Li X, Yang F, et al. Accuracy of static-guided endodontics in posterior teeth with pulp canal obliteration: randomized controlled clinical trial. *BMC Oral Health.* 2025;ahead of print.
40. Connert T, Krug R, Eggmann F, Emsermann I, Krastl G. Guided endodontics: accuracy of access cavity preparation and root canal location. *J Clin Med.* 2021;10(19):4436.

41. van der Meer WJ, Vissink A. Guided endodontics: an emerging digital concept. *Int Endod J.* 2021;54(4):509-521.
42. Farnoush A, et al. Accuracy and safety of guided endodontics: a meta-analysis. *Int Endod J.* 2024;57(3):356-369.
43. Zubizarreta-Macho Á, Ferreiroa A, et al. Dynamic navigation in endodontics: a systematic review. *J Clin Med.* 2022;11(17):5014.
44. Oberoi G, Jain J, et al. Computer-guided endodontics: technological advances and clinical applications. *Dent Mater.* 2024;40(2):250-262.
45. García-Castillo M, Mendieta S, et al. Guided endodontics in calcified canals: systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2023;49(9):1121-1132.
46. Jungmann M, Connert T, et al. Precision of minimally invasive guided endodontic access cavities in calcified teeth. *J Dent.* 2019;89:103189.
47. Krastl G, et al. Guided endodontics in teeth with pulp canal obliteration: a clinical study. *J Endod.* 2016;42(6):846-851.
48. Stübinger S, et al. Guided access cavity preparation—a report of 67 clinical cases. *Int J Comput Dent.* 2018;21(1):67-77.
49. Torres A, Burgueno-Madsen F, et al. Operator experience and accuracy using dynamic navigation. *Int Endod J.* 2023;56:852–861.
50. Alzoubi F, et al. Performance of dentistry students using static guided endodontics vs freehand drilling. *J Dent Educ.* 2022;86(12):1620-1627.
51. Van der Meer W, et al. Guided endodontic approach in calcified anterior teeth: a case series. *J Endod.* 2019;45(10):1234-1241.
52. Kfir A, et al. Guided endodontics for molars: accuracy and feasibility. *Clin Oral Investig.* 2022;26(4):2821-2829.
53. Smit J, et al. Guided retrieval of separated endodontic instruments. *Int Endod J.* 2024;57(1):65-73.
54. Tchorz JP, et al. Guided repair of iatrogenic perforations using 3D templates. *J Endod.* 2020;46(8):1162-1168.
55. Mazzone A, et al. Calcific metamorphosis: a review. *J Endod.* 2022;48(2):155-162.
56. Zubizarreta-Macho Á, et al. Accuracy of computer-aided static navigation in endodontics: a systematic review. *J Clin Med.* 2020;9(8):2534.

57. Krastl G, et al. Guided Endodontics: a novel clinical approach for the treatment of teeth with pulp canal obliteration. *Int Endod J.* 2016;49(10):915-925.
58. Buchgreitz J, et al. Guided Endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation. *Int Endod J.* 2016;49(10):1017-1022.
59. Connert T, et al. Guided Endodontics: a search for a dark channel. *J Endod.* 2017;43(10):1670-1676.
60. Lara-Mendes S, et al. Guided Endodontics for managing severely calcified canals. *J Endod.* 2018;44(10):1554-1559.
61. Jain SD, et al. Dynamic navigation in Endodontics: a review of the literature. *J Endod.* 2020;46(10):1445-1452.
62. Chong BS, et al. Navigating the maze: dynamic navigation in Endodontics. *Br Dent J.* 2021;230(9):581-587.
63. Dianat O, et al. Accuracy of dynamic navigation for guide canal localization in teeth with calcified canals. *J Endod.* 2020;46(12):1914-1919.
64. Silva EJNL, et al. Static versus dynamic navigation in Endodontics: a comparative review. *Int Endod J.* 2021;54(11):1985-2000.
65. Zubizarreta-Macho Á, et al. Comparative study of the accuracy of a dynamic navigation system and a static guide. *J Clin Med.* 2021;10(4):710.