



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**REVASCULARIZACIÓN VERSUS APEXIFICACIÓN EN DIENTES PERMANENTES
INMADUROS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÉXITO CLÍNICO REPORTADO EN
LA LITERATURA CIENTÍFICA ACTUAL**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
CIRUJANO DENTISTA

PRESENTA:

P.C.D. JOSEFINA SARA PÉREZ

DIRECTORA:

E.E. BRISSA ITZEL JIMENEZ VALDÉS

REVISORES:

E. EN E. KARLA GUADALUPE LARA POLANCO

E. EN E. FRANCISCO SÁNCHEZ MARTÍNEZ

TOLUCA, MÉXICO

JULIO 2026



ÍNDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	7
ANTECEDENTES	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
JUSTIFICACIÓN	14
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
HIPÓTESIS DOCUMENTAL	16
PRINCIPAL.....	16
NULA.....	16
MARCO TEÓRICO	17
1. DIENTE PERMANENTE INMADURO	17
1.1. DEFINICIÓN	17
1.2. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y ANATÓMICAS.....	18
1.3. IMPLICACIONES CLÍNICAS DE LA INMADUREZ RADICULAR.....	21
2. NECROSIS PULPAR EN DIENTES PERMANENTES INMADUROS.....	24
2.1. DEFINICIÓN	24
2.2. ETIOLOGÍA.....	24
2.3. CONSECUENCIAS CLÍNICAS	28
2.4. DIAGNÓSTICO CLÍNICO Y RADIOGRÁFICO	29
3. APEXIFICACIÓN CON HIDRÓXIDO DE CALCIO Y MTA	31
3.1. DEFINICIÓN	31
3.2. APEXIFICACIÓN CON Ca (OH) ₂	31

3.3. APEXIFICACIÓN CON AGREGADO DE TRIÓXIDO MINERAL (MTA)	38
4. ENDODONCIA REGENERATIVA / REVASCULARIZACIÓN.....	43
4.1 TERAPIA ENDODÓNTICA REGENERATIVA	43
4.2. BASES BIOLÓGICAS DE LA TERAPIA REGENERATIVA	44
4.3. REVASCULARIZACIÓN EN ENDODONCIA	49
4.4. PROTOCOLO CLÍNICO.....	51
4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	55
5. CRITERIOS DE ÉXITO CLÍNICO Y RADIOGRÁFICO	59
5.1. INDICADORES CLÍNICOS.....	60
5.2. INDICADORES RADIOGRÁFICOS	62
5.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ÉXITO	64
5.4. CRITERIOS DE ÉXITO REPORTADOS	66
6. EVIDENCIA COMPARATIVA ACTUAL	69
MARCO METODOLÓGICO	73
IMPLICACIONES BIOÉTICAS.....	79
RESULTADOS	81
DISCUSIÓN	100
CONCLUSIONES	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS.....	126

RESUMEN

Los dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar representan un desafío clínico debido a la interrupción del desarrollo radicular, lo que ocasiona raíces con ápices abiertos, paredes dentinarias delgadas y mayor riesgo de fractura. Ante esta situación, la elección del tratamiento es fundamental para conservar la funcionalidad del diente y mejorar su pronóstico a largo plazo. Actualmente, la apexificación y la revascularización constituyen las principales alternativas terapéuticas.

La apexificación ha sido utilizada durante años por su predictibilidad clínica; sin embargo, no permite la continuación del desarrollo radicular. Por otro lado, la revascularización se plantea como una opción más conservadora que busca no solo eliminar la infección, sino también favorecer el engrosamiento de las paredes dentinarias y el cierre apical. A pesar de esto, existe variabilidad en sus protocolos y en los resultados reportados.

Debido a la falta de consenso en la literatura sobre cuál técnica ofrece mejores resultados clínicos y radiográficos, surge la necesidad de analizar la evidencia científica disponible. El objetivo de este estudio es comparar los resultados clínicos y radiográficos de la apexificación y la revascularización en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar.

Para ello, se realizó un estudio documental con enfoque descriptivo y comparativo, basado en una revisión de literatura científica obtenida de bases de datos especializadas como PubMed, SciELO, Scopus y Web of Science, enfocada en los indicadores de éxito clínico y radiográfico, así como en los factores que pueden influir en los resultados de ambos tratamientos. Entre los principales hallazgos encontrados, la evidencia reportó que la apexificación continúa siendo una alternativa terapéutica eficaz para el control de la infección y la formación de barrera apical, mientras que la revascularización mostró ventajas relacionadas con la continuación del desarrollo radicular, el incremento del grosor dentinario y el fortalecimiento estructural del diente. Este análisis permite aportar información útil para la toma de decisiones clínicas

basada en evidencia y facilitar la selección del tratamiento más adecuado en cada caso.

Palabras clave: Revascularización, apexificación, necrosis pulpar, dientes permanentes inmaduros, endodoncia regenerativa, desarrollo radicular.

ABSTRACT

Immature permanent teeth with pulp necrosis represent a clinical challenge due to the interruption of root development, resulting in open apices, thin dentinal walls, and an increased risk of root fracture. In these cases, treatment selection is essential to preserve tooth function and improve long-term prognosis. Currently, apexification and revascularization are considered the main therapeutic approaches.

Apexification has been widely used because of its clinical predictability; however, it does not promote continued root development. In contrast, revascularization has emerged as a more conservative biological approach aimed not only at infection control but also at stimulating dentinal wall thickening, apical closure, and further root maturation. Nevertheless, variability in clinical protocols and reported outcomes remains evident.

Due to the lack of consensus in the literature regarding which treatment provides superior clinical and radiographic outcomes, this study aimed to compare apexification and revascularization in immature permanent teeth with pulp necrosis. A documentary, descriptive and comparative literature review was performed through the consultation of scientific databases including PubMed, SciELO, Scopus and Web of Science. The review included studies published during the last ten years in English and Spanish, such as clinical trials, observational studies, systematic reviews, meta-analyses and case reports.

The analysis focused on clinical and radiographic success indicators, including absence of signs and symptoms, periapical healing, apical barrier formation, increase in root length and dentinal wall thickness, as well as factors influencing treatment

outcomes. The reviewed evidence showed that apexification remains an effective option for infection control and apical barrier formation, whereas regenerative procedures demonstrated advantages related to continued root development and structural reinforcement of the tooth. This review seeks to provide evidence-based information to support clinical decision-making and facilitate appropriate treatment selection according to the characteristics of each case.

Keywords: regenerative endodontics, revascularization, apexification, immature permanent teeth, pulp necrosis, clinical success.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad analizar y comparar la evidencia científica disponible sobre la apexificación y la revascularización en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, con el propósito de identificar cuál de estas alternativas terapéuticas ofrece mejores resultados clínicos y radiográficos, y así contribuir a una toma de decisiones más fundamentada en la práctica clínica.

En la odontología actual se continúa investigando sobre los tratamientos menos invasivos y más conservadores para lograr que se mantenga la funcionalidad y la vitalidad de los dientes permanentes con ápices abiertos que han sido diagnosticados con necrosis pulpar. El tratamiento endodóntico de los dientes permanentes inmaduros con pulpa necrótica constituye un desafío clínico relevante en la odontología contemporánea debido a las particularidades anatómicas y biológicas que presentan estos órganos dentarios. La ausencia de una constricción apical definida, la delgadez de las paredes radicales y el desarrollo incompleto de la raíz condicionan un pronóstico reservado y limitan la aplicación de técnicas endodónticas convencionales ¹.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó una revisión de la literatura científica publicada en bases de datos especializadas, analizando estudios relacionados con la apexificación y la revascularización, así como los resultados clínicos y radiográficos reportados para cada procedimiento.

Dentro de los hallazgos encontrados, la apexificación continúa mostrando resultados favorables en la resolución de la infección y la formación de una barrera apical, mientras que la revascularización ha demostrado ventajas relacionadas con la continuación del desarrollo radicular, el aumento del grosor de las paredes dentinarias y el fortalecimiento estructural del diente. Sin embargo, la evidencia disponible muestra variabilidad en los protocolos clínicos y en los criterios utilizados para evaluar el éxito terapéutico ².

ANTECEDENTES

El manejo de dientes permanentes inmaduros con pulpa necrótica ha evolucionado de manera significativa a lo largo del tiempo. Inicialmente, la apexificación mediante hidróxido de calcio fue ampliamente utilizada debido a su capacidad para inducir la formación de tejido duro apical. A pesar de los resultados favorables iniciales, diversos estudios evidenciaron complicaciones asociadas a su uso prolongado ³.

En 1920, Hermann introdujo el uso de hidróxido de calcio en endodoncia con la intención de favorecer los procesos de regeneración ósea periapical, ya que sus principales efectos son su actividad antibacteriana y su capacidad para favorecer la aposición de tejidos calcificados ⁴.

Mitchell y Shankwalker en 1958 hablan sobre el potencial osteogénico del hidróxido de calcio y otros materiales en heridas de tejido blando y óseo ⁵.

En 1964 Kaiser introdujo el uso de hidróxido de calcio en la apexificación; también afirmó que cuando se mezcla con parachlorofenol alcanforado, este material induciría la formación de una barrera calcificada a través del ápice ⁶.

La técnica de apexificación con hidróxido de calcio fue descrita por primera vez en 1966 por F. M. Frank. Él recomendó reducir tanto como fuera posible los contaminantes presentes en el conducto radicular mediante instrumentación precisa e irrigación del conducto, y llenar temporalmente el espacio endodóntico con una pasta reabsorbible como hidróxido de calcio ⁷.

En 1971, Nygaard-Ostby y Hjortdal realizaron estudios que pueden considerarse precursores de la regeneración pulpar. Los estudios tenían como objetivo determinar cómo reaccionaría el tejido periodontal si se removía toda la pulpa del conducto principal y posteriormente se permitía que la parte apical se llenara de sangre ⁸.

En un estudio realizado en 1986 por Kling, Cvek y Mejare investigaron la frecuencia de revascularización pulpar en incisivos reimplantados terapéuticamente, así como su relación con los siguientes factores: ancho del foramen apical, duración del tiempo

extra alveolar, condiciones de almacenamiento y administración postoperatoria de antibióticos. De 72 dientes inmaduros (ancho del foramen apical 1.1–5.0 mm) la pulpa se revascularizó en 13 (18%), mientras que en 88 dientes maduros (ancho del foramen apical 1.0 mm o menos) no se produjo revascularización⁹. Todos los dientes en los que no ocurrió la revascularización presentaron una radiolucidez periapical y/o reabsorción radicular inflamatoria externa⁹.

Posteriormente en el año 2001, Witherspoon y Ham describen la técnica de apexificación usando el agregado trióxido mineral (MTA) mencionan que el MTA fue introducido en la odontología como un material de obturación retrógrada. Ha sido recomendado para la obturación de conductos radiculares, reparación de perforaciones, recubrimiento pulpar e inducción de cierre apical además de reaccionar con los fluidos tisulares para formar una barrera apical de tejido duro¹⁰.

En un estudio realizado en el año 2001 por Iwaya, Ikawa y Kubota describieron un caso de revascularización de un diente permanente inmaduro con periodontitis apical y un tracto sinusal, utilizando una pasta triantibiótica y un coágulo sanguíneo inducido, logrando el cierre apical¹¹. El examen radiográfico mostró el inicio del cierre apical 5 meses después de la finalización del protocolo antimicrobiano. El engrosamiento de la pared del conducto y el cierre apical completo se confirmaron 30 meses después del tratamiento, lo que indica el potencial de revascularización de la pulpa de un diente permanente joven en un espacio de conducto libre de bacterias¹¹.

Además, Jung, Lee y Hargreaves investigaron casos en 2008 que demostraban el tratamiento biológico basado en la revascularización para dientes inmaduros permanentes con necrosis pulpar, mencionaron que en el estudio realizado a 8 pacientes (9-14 años) que presentaron 9 dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar y periodontitis apical. Durante el tratamiento, 5 de los dientes tenían al menos algo de tejido vital residual en los sistemas de conductos radiculares. Después de la irrigación con NaOCl y la medicación con ciprofloxacina, metronidazol y minociclina, estos dientes fueron sellados con agregado trióxido mineral y restaurados. El otro grupo de 4 dientes no presentó evidencia de tejido pulpar vital residual. Este segundo

grupo fue tratado con irrigación con NaOCl y medicado con ciprofloxacina, metronidazol y minociclina seguido de un procedimiento de revascularización adoptado de la literatura de trauma (se indujo sangrado para formar un coágulo sanguíneo intracanal). En ambos grupos de pacientes hubo evidencia de resultados clínicos postoperatorios satisfactorios (1-5 años); los pacientes estaban asintomáticos, no había fístulas sinusales evidentes, la periodontitis apical se resolvió y hubo evidencia radiográfica de un continuo engrosamiento de las paredes dentinarias, cierre apical o aumento de la longitud radicular ¹².

La European Society of Endodontology (ESE) publicó su position statement que propone protocolos clínicos estandarizados basados en la desinfección química del sistema de conductos, mínima o nula instrumentación mecánica, inducción de sangrado apical y sellado coronario hermético ¹³.

En 2019, Chen et al. demostraron que materiales como MTA, CEM (cemento de enriquecimiento de calcio) y PRF (fibrina rica en plaquetas) ofrecen tasas de éxito clínico y radiográfico del 100% en pulpotomías de dientes inmaduros ¹⁴.

Panda et al. en 2022 compararon la terapia endodóntica regenerativa (RET) con la apexificación, concluyendo que ambas técnicas presentan tasas similares de éxito clínico, aunque la RET favorece una mayor longitud radicular ¹⁵.

Priya y colaboradores, en 2023 señalaron que la técnica de revascularización muestra una mayor eficacia en el cierre del ápice y el desarrollo radicular, aunque ambas alternativas terapéuticas pueden presentar complicaciones ¹⁶.

La American Association of Endodontists (AAE) enfatiza la importancia de la irrigación con concentraciones bajas de hipoclorito de sodio, el uso de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) para favorecer la liberación de factores de crecimiento dentinarios, la colocación de medicación intracanal y la inducción de un coágulo sanguíneo intracanal como andamiaje biológico para favorecer la reparación y el desarrollo radicular continuo. Asimismo, señala como objetivos terapéuticos primarios la resolución de signos y síntomas clínicos y la regeneración ósea periapical; como objetivos secundarios, el incremento del grosor de las paredes dentinarias y la longitud

radicular; y como objetivo terciario, una respuesta positiva a las pruebas de sensibilidad pulpar ¹⁷.

Kahler et al. 2024 confirmaron que la endodoncia regenerativa mejora significativamente la maduración radicular en dientes inmaduros con necrosis ¹⁸.

Con base en los hallazgos del metaanálisis, los procedimientos regenerativos mostraron un incremento significativamente mayor tanto en la longitud radicular como en el grosor de las paredes dentinarias, por lo que parecen ser superiores a la apexificación en la promoción del desarrollo radicular ¹⁹.

La introducción de materiales biocerámicos como el MTA permitió optimizar el procedimiento de apexificación, reduciendo el tiempo de tratamiento y aumentando la predictibilidad clínica. Paralelamente, los avances en biología pulpar y medicina regenerativa dieron origen a la revascularización, técnica basada en principios biológicos que busca promover la maduración radicular. Cada estudio realizado a lo largo del tiempo ofrece información importante para establecer protocolos terapéuticos fundamentados con evidencia científica sólida y subrayan la importancia de aplicar en la práctica clínica estrategias innovadoras para optar por el mejor plan de tratamiento para cada paciente con este diagnóstico ¹⁸.

En la literatura reciente se observa un aumento en el número de estudios que evalúan y comparan ambas técnicas; sin embargo, los resultados continúan siendo heterogéneos, lo que justifica la realización del presente estudio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necrosis pulpar en dientes permanentes inmaduros representa un desafío clínico significativo en endodoncia debido a la interrupción del desarrollo radicular, lo que condiciona paredes dentinarias delgadas, ápices abiertos y mayor susceptibilidad a fracturas.

Tradicionalmente, la apexificación con hidróxido de calcio o barreras apicales con materiales biocerámicos ha sido el tratamiento de elección; sin embargo, esta técnica no promueve el desarrollo radicular continuo, limitando el pronóstico estructural a largo plazo.

En contraste, los procedimientos de endodoncia regenerativa, particularmente la revascularización, han emergido como una alternativa terapéutica que busca no solo la resolución de la infección, sino también la continuación del desarrollo radicular mediante el engrosamiento de las paredes dentinarias y el cierre apical.

A pesar de los avances en los materiales y técnicas endodónticas, aún no existe consenso claro sobre cuál alternativa terapéutica ofrece mejores resultados clínicos en el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con pulpa necrótica. La apexificación no promueve el desarrollo radicular continuo, mientras que la revascularización presenta variabilidad en sus resultados y protocolos.

Esta situación genera incertidumbre en la toma de decisiones clínicas y evidencia la necesidad de analizar comparativamente el éxito clínico reportado de ambas técnicas, con base en la evidencia científica disponible.

Aunque ambas técnicas han demostrado resultados clínicos favorables, persiste una controversia en la literatura respecto a cuál de estas técnicas ofrece mejores resultados en términos de éxito clínico, regeneración ósea periapical y desarrollo radicular. Además, la ausencia de criterios estandarizados para evaluar el éxito terapéutico dificulta la comparación objetiva entre ambos enfoques.

Por lo tanto, resulta necesario realizar un análisis comparativo de la evidencia científica actual que permita establecer, con base en resultados clínicos y radiográficos, cuál de estas estrategias terapéuticas ofrece mayores beneficios en el manejo de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar.

La pregunta que orienta esta investigación es: ¿Cuál de las dos alternativas terapéuticas, la apexificación o la revascularización, presenta mejores resultados clínicos y radiográficos en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, con base en la evidencia científica actual?

JUSTIFICACIÓN

El tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar constituye una problemática frecuente en la práctica clínica odontológica en pacientes pediátricos y adolescentes. La elección del tratamiento más adecuado tiene implicaciones directas en la longevidad del diente, su resistencia estructural y la calidad de vida del paciente.

En los últimos años, la endodoncia regenerativa ha ganado relevancia como una alternativa biológicamente orientada; sin embargo, la apexificación continúa siendo ampliamente utilizada debido a su predictibilidad clínica. Esta coexistencia de enfoques terapéuticos genera incertidumbre en la toma de decisiones clínicas.

La relevancia clínica de este estudio radica en la complejidad del tratamiento de dientes permanentes inmaduros y en la necesidad de seleccionar la alternativa terapéutica que ofrezca un mejor pronóstico a largo plazo. Desde el punto de vista académico, la investigación contribuye al análisis crítico de la literatura reciente y fortalece la formación profesional en el área de la endodoncia.

La presente investigación se justifica en la necesidad de analizar de manera crítica y comparativa la evidencia científica disponible, con el fin de comparar los resultados clínicos y radiográficos de ambas técnicas, contribuyendo a la toma de decisiones basada en evidencia y el desarrollo de protocolos terapéuticos más conservadores que favorezcan la preservación estructural del diente.

Este trabajo busca constituir una herramienta de consulta y apoyo para estudiantes de odontología, odontólogos generales y profesionales que no se encuentren familiarizados con los procedimientos endodónticos regenerativos, facilitando la comprensión de sus fundamentos biológicos, criterios de indicación, ventajas, limitaciones y resultados clínicos en comparación con la apexificación.

Asimismo, este estudio permite identificar las principales variables utilizadas para evaluar el éxito terapéutico y las limitaciones metodológicas de los estudios existentes, aportando bases para futuras investigaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Comparar, con base en la literatura científica actual, los resultados clínicos y radiográficos sobre la revascularización y la apexificación en el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar considerando criterios de éxito, la resolución de signos y síntomas, la regeneración ósea periapical, el desarrollo radicular, la supervivencia y las complicaciones asociadas a cada tratamiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los criterios utilizados en la literatura para definir el éxito clínico y radiográfico en ambos tratamientos.
- Evaluar la resolución de signos y síntomas clínicos asociados a cada técnica.
- Comparar la regeneración ósea de lesiones periapicales mediante indicadores radiográficos.
- Analizar los cambios en el desarrollo radicular (longitud, grosor dentinario y cierre apical).
- Identificar las tasas de supervivencia y complicaciones asociadas a cada tratamiento.
- Determinar las ventajas y limitaciones de la revascularización frente a la apexificación con base en la evidencia científica.

HIPÓTESIS DOCUMENTAL

PRINCIPAL

La revascularización podría presentar mejores resultados radiográficos en comparación con la apexificación en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, particularmente en términos de desarrollo radicular, mientras que la apexificación podría presentar resultados clínicos más predecibles en términos de resolución de signos y síntomas.

NULA

No existen diferencias significativas en los resultados clínicos y radiográficos entre la revascularización y la apexificación en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar.

MARCO TEÓRICO

Los dientes permanentes inmaduros presentan características anatómicas particulares que dificultan el tratamiento endodóntico. La apexificación es un procedimiento reparativo cuyo objetivo es permitir la obturación del conducto radicular mediante la formación de una barrera apical.

Por otro lado, la revascularización se basa en principios biológicos que buscan promover la regeneración o formación de tejido intracanal, favoreciendo la maduración radicular. Ambos enfoques presentan ventajas y limitaciones que deben ser analizadas de manera integral.

1. DIENTE PERMANENTE INMADURO

1.1. DEFINICIÓN

Un diente permanente inmaduro o joven es aquel diente permanente erupcionado que no ha terminado su desarrollo radicular. Cuando un diente erupciona en la cavidad bucal, lo hace con una formación radicular incompleta, y hasta que un diente erupcionado no ha terminado su desarrollo, se le denomina diente con rizogénesis incompleta, diente inmaduro, diente permanente joven o diente con ápice abierto. En los seres humanos el cierre apical se logra aproximadamente a los tres años después de la erupción de los dientes ⁴.

El término de diente permanente inmaduro no solo hace referencia al desarrollo radicular incompleto, sino también a una condición clínica que implica la continuidad de procesos biológicos activos en la raíz, los cuales pueden verse interrumpidos ante la presencia de patología pulpar. Esta condición adquiere relevancia en la práctica clínica, ya que el manejo terapéutico busca, en la medida de lo posible, preservar o restablecer dichos procesos para permitir la maduración radicular ¹⁷.

1.2. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y ANATÓMICAS

Un diente con ápice abierto es totalmente normal, siempre que no existan alteraciones pulpares o periapicales ²⁰.

La pulpa dental es necesaria para la formación de dentina pues al mismo tiempo que se desarrolla en longitud la raíz del diente inmaduro, se produce el engrosamiento de las paredes del diente por aposición de la dentina ⁴. Sin embargo, si la pulpa de un diente permanente joven se necrosa antes de completarse la formación radicular, cesa el desarrollo de la raíz y el diente queda con paredes delgadas y un ápice abierto ²¹. Cualquier alteración en la vaina epitelial de Hertwig, ya sea por trauma o infección, puede interferir en el desarrollo normal de la raíz y dar lugar a alteraciones en su morfología ²².

Desde el punto de vista morfológico, las paredes pueden ser: divergentes, paralelas o ligeramente convergentes, dependiendo de la fase de desarrollo radicular. El ápice es comparativamente grande y no presenta la constricción normal ⁴.

Desde el punto de vista clínico, el grado de desarrollo radicular en dientes permanentes inmaduros puede clasificarse de acuerdo con el sistema propuesto por Cvek, el cual describe distintos estadios de formación radicular y apertura apical ²³.

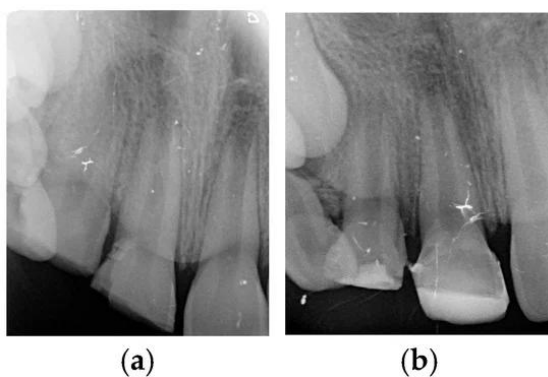


Figura 1. Radiografía periapical inicial de un incisivo permanente inmaduro con ápice abierto y paredes dentinarias delgadas ²⁵.

CLASIFICACIÓN DE LA FORMACIÓN RADICULAR

La clasificación descrita por Cvek divide la formación radicular en cinco estadios de acuerdo con la longitud de la raíz desarrollada y el grado de apertura apical. Esta clasificación permite valorar el nivel de maduración radicular y establecer consideraciones diagnósticas, pronósticas y terapéuticas en dientes con rizogénesis incompleta.

Estadio I: corresponde a dientes con menos de la mitad de la longitud radicular desarrollada. Radiográficamente se observa un ápice ampliamente abierto, paredes dentinarias delgadas y una raíz marcadamente inmadura.

Estadio II: la raíz presenta aproximadamente la mitad de su desarrollo final. El foramen apical permanece ampliamente abierto, aunque existe mayor formación radicular en comparación con el estadio anterior.

Estadio III: se caracteriza por una raíz con alrededor de dos tercios de su longitud final. Continúa observándose apertura apical, pero con un desarrollo progresivo del grosor y longitud radicular.

Estadio IV: presenta una raíz cercana a completar su longitud definitiva; sin embargo, el ápice aún permanece abierto. Las paredes radicales muestran una configuración más convergente y una anatomía próxima a la maduración completa.

Estadio V: corresponde al desarrollo radicular completo, caracterizado por longitud radicular finalizada y cierre fisiológico del foramen apical ²⁴.

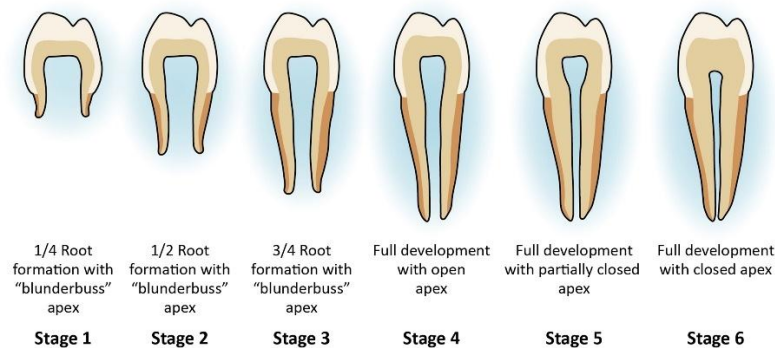


Figura 2. Clasificación descrita por Cvek de los estadios del desarrollo radicular ²⁶.

Además, este sistema permite orientar el diagnóstico y la selección del tratamiento más adecuado, ya que el pronóstico varía dependiendo del nivel de desarrollo radicular y del tamaño del foramen apical ²³.

Otra característica relevante de los dientes permanentes inmaduros es la presencia de una mayor permeabilidad dentinaria, debido a la amplitud de los túbulos dentinarios y a la menor mineralización del tejido. Esta condición favorece la difusión de bacterias y toxinas hacia los tejidos periapicales, lo que puede acelerar la progresión de procesos infecciosos y dificultar su control durante el tratamiento endodóntico ²⁷.

En los dientes permanentes inmaduros, la región apical presenta una organización menos definida en comparación con los dientes completamente desarrollados, ya que el límite entre la pulpa y los tejidos periapicales no está claramente delimitado. Esta condición permite una comunicación más directa entre ambos tejidos, lo que influye tanto en la respuesta inflamatoria como en los procesos de reparación ²⁸.

En el contexto actual de la endodoncia, el diente permanente inmaduro también se considera una estructura en desarrollo cuyo pronóstico depende en gran medida de la conservación de los tejidos periapicales y de su capacidad biológica para continuar la formación radicular. Esta condición lo diferencia de un diente completamente desarrollado, ya que aún posee potencial de maduración, lo cual influye directamente en la elección del tratamiento y en los resultados a largo plazo ²⁹.

Desde el punto de vista estructural, también se han estudiado las propiedades físicas y químicas de la dentina. Hubo un solo estudio en el que se demostró que no había diferencias en el contenido de humedad entre los dientes vitales y no vitales ³⁰. Tampoco se han encontrado diferencias significativas en la composición química de la dentina entre dientes vitales y no vitales, incluyendo los enlaces del colágeno ³¹.

A pesar de las investigaciones, no se observaron diferencias significativas en la microdureza de la dentina entre dientes vitales y no vitales; las variaciones encontradas se relacionan más con la localización y estructura de la dentina que con la vitalidad pulpar ³².

1.3. IMPLICACIONES CLÍNICAS DE LA INMADUREZ RADICULAR

La necesidad de terapia regenerativa en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar surge debido a las limitaciones de los tratamientos convencionales, los cuales no permiten la continuación del desarrollo radicular ni el fortalecimiento de la estructura dentaria. En este contexto, los procedimientos regenerativos buscan no solo el control de la infección, sino también favorecer la formación de nuevo tejido que permita el aumento en la longitud radicular y el engrosamiento de las paredes del conducto ¹⁷.

La inmadurez radicular representa una condición en la que el diente conserva potencial biológico para completar su desarrollo, siempre que se mantenga la vitalidad pulpar o se logre controlar la infección del sistema de conductos. Esta condición implica que la rizogénesis no ha alcanzado su término fisiológico, lo que da lugar a una raíz incompleta cuyo desarrollo puede verse comprometido en presencia de factores como infección o trauma ³³. Cuando este equilibrio se pierde, el proceso de maduración radicular se detiene de forma irreversible, lo que condiciona el pronóstico del diente ¹⁷.

Los dientes inmaduros pueden sufrir daño pulpar a causa de diversos riesgos, tales como las infecciones por caries, traumatismos físicos o químicos, o defectos congénitos ³⁴.

Debido a que los dientes permanentes jóvenes están presentes en niños y adolescentes, la integridad del tejido pulpar se encuentra en riesgo de sufrir distintas lesiones producto de traumatismos, ya que el rango etario de mayor prevalencia de estos está entre los 7 y 12 años; lesiones cariosas por deficiencias en la higiene y mayor consumo de azúcares, exposiciones accidentales pulpares durante procedimientos operatorios, por causa de cámaras amplias y cuernos prominentes, entre otros, influyen en dichas lesiones del tejido pulpar ³⁵.

La morfología interna de las piezas permanentes que han erupcionado recientemente presenta paredes radiculares finas y frágiles, abertura apical de mayor diámetro que el conducto radicular, falta de un tope o stop apical y desde el punto de vista histológico la dentina de dicha zona no está revestida por cemento ³⁵.

En este sentido, los dientes permanentes inmaduros presentan una mayor susceptibilidad a fractura radicular debido al grosor reducido de sus paredes dentinarias y a la inmadurez estructural de la raíz. Esta condición compromete su resistencia mecánica, especialmente ante fuerzas funcionales o procedimientos restaurativos, lo que influye directamente en su pronóstico a largo plazo ²⁷.

De igual manera, sí existen cambios en los tejidos relacionados con la edad, como: la reducción del volumen de la pulpa que va siendo reemplazada por dentina secundaria y terciaria que podría ser la responsable de una menor resistencia a la fractura de los dientes desvitalizados y envejecidos; y la fatiga durante el resto de la vida que se atribuye a la esclerosis de la dentina ³².

El tratamiento endodóntico convencional en dientes permanentes inmaduros representa un reto clínico debido a la ausencia de cierre apical y al reducido grosor de las paredes dentinarias. Estas condiciones dificultan la correcta instrumentación del conducto radicular y hacen impredecible la desinfección del sistema de conductos. Además, la obturación convencional puede resultar inadecuada, ya que no se logra un sellado apical estable, lo que compromete el pronóstico a largo plazo del diente tratado ³⁶.

Cuando ocurre necrosis pulpar en un diente permanente inmaduro, se pierde la función de la vaina epitelial de Hertwig y de las células formadoras de dentina, lo que impide la continuación de la rizogénesis. Como consecuencia, el diente queda con un ápice abierto y sin formación adicional de tejido radicular, lo que limita su capacidad de desarrollo y reparación ¹⁷.

Las anomalías del desarrollo dental se presentan con una frecuencia variable en la población, lo que puede influir en la formación radicular y en el pronóstico de los dientes afectados. En este contexto, los dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar representan un desafío clínico, ya que los tratamientos endodónticos convencionales no permiten la continuación del desarrollo radicular. Por ello, se han propuesto diferentes alternativas terapéuticas como la apexificación, la apexogénesis

y más recientemente, los procedimientos endodónticos regenerativos, los cuales buscan favorecer la maduración radicular y mejorar el pronóstico a largo plazo ^{21, 37}.

Diversos autores han abordado esta problemática, destacando el uso de materiales como el MTA en procedimientos de apexificación, así como el desarrollo de terapias regenerativas que promueven la formación de tejido vital dentro del conducto radicular ^{38, 13}. Cualquiera de estas situaciones puede llevar a la necesidad de realizar una terapia pulpar, conservadora o radical. La selección del tratamiento va a depender del estado patológico de la pulpa y la situación que presenta el tercio apical, es decir, la formación radicular y el cierre del ápice ³⁹.

El tratamiento de los dientes con ápice abierto representa un desafío clínico; cuando la pulpa está vital, el objetivo es permitir la continuación del desarrollo radicular, pero en dientes necróticos es necesario inducir una barrera apical que permita la adecuada obturación del conducto ^{37,40}.

2. NECROSIS PULPAR EN DIENTES PERMANENTES INMADUROS

2.1. DEFINICIÓN

Se caracteriza por la pérdida total de la vitalidad del tejido pulpar, acompañada de la colonización bacteriana del sistema de conductos radiculares y la liberación de productos tóxicos hacia los tejidos periapicales. Esta condición no solo implica la muerte del tejido pulpar, sino también la alteración del entorno biológico necesario para la continuidad del desarrollo radicular, lo que favorece la aparición de lesiones periapicales y compromete el pronóstico del diente ¹⁷.

La necrosis pulpar se considera una condición irreversible en la que el tejido pulpar pierde su capacidad funcional y metabólica, dejando de responder a estímulos fisiológicos. En dientes permanentes inmaduros, esta situación implica la interrupción definitiva de los procesos celulares responsables del desarrollo radicular ⁴¹.

2.2. ETIOLOGÍA

La necrosis pulpar es consecuencia de una agresión severa al tejido pulpar que compromete su irrigación y provoca la muerte celular ³⁷. Y puede originarse por diversos factores, principalmente infecciosos y traumáticos ²⁷.

2.2.1. INFECCIÓN BACTERIANA

Una de las enfermedades que provocan este tipo de infecciones y además es muy común, es la caries, la cual se define como una enfermedad multifactorial, dinámica y mediada por biofilm, asociada a la dieta, que produce la pérdida de minerales y destrucción progresiva de los tejidos duros dentales por los ácidos generados durante el metabolismo bacteriano. Cuando la lesión cariosa alcanza profundidad dentinaria, permite la penetración gradual de bacterias y sus subproductos a través de los túbulos dentinarios, favoreciendo la inflamación pulpar que, si no es controlada, puede

progresar hacia necrosis pulpar ⁴². En estadios avanzados, la carga bacteriana y la respuesta inflamatoria superan la capacidad de defensa del tejido pulpar, lo que conduce a su degeneración irreversible ⁴³.

Además de la caries profunda, la infección bacteriana puede establecerse a través de microfiltración marginal en restauraciones defectuosas, permitiendo el paso de microorganismos hacia el complejo dentinopulpar. Esta vía de entrada favorece la contaminación progresiva del tejido pulpar, aún en ausencia de una cavidad cariosa extensa ⁴³.

2.2.2. TRAUMATISMOS DENTALES

Los traumatismos dentales, particularmente las luxaciones, representan una de las principales causas de necrosis pulpar en dientes permanentes inmaduros. Este tipo de lesiones provoca daño al paquete vasculonervioso, comprometiendo el suministro sanguíneo hacia la pulpa. Como consecuencia, se produce isquemia y, posteriormente, necrosis pulpar, aún en ausencia de exposición directa del tejido pulpar ⁴⁴.

Otro de los traumatismos más comunes es la avulsión dental, la cual es también una de las lesiones traumáticas más severas y se asocia con un alto riesgo de necrosis pulpar en dientes permanentes inmaduros. La salida completa del diente de su alveolo provoca la interrupción total del paquete vasculonervioso, lo que compromete de forma inmediata la vitalidad pulpar. Aunque en algunos casos puede existir revascularización, el pronóstico depende en gran medida del tiempo extraoral y de las condiciones de almacenamiento del diente ⁴⁴.

Si bien, otra causa frecuente de necrosis en estos casos son las fracturas coronarias con exposición pulpar, ya que, en estos casos, la comunicación directa entre el medio bucal y el tejido pulpar favorece la contaminación bacteriana, lo que puede desencadenar un proceso inflamatorio que, si no se trata oportunamente, evoluciona hacia la necrosis pulpar ⁴⁴.

2.2.3. FACTORES IATROGÉNICOS

Factores como las preparaciones cavitarias profundas pueden provocar daño pulpar y favorecer el desarrollo de necrosis en dientes permanentes inmaduros. La proximidad excesiva al tejido pulpar durante estos procedimientos puede generar irritación mecánica y térmica, así como alteraciones en la microcirculación pulpar, lo que compromete su vitalidad y puede desencadenar un proceso degenerativo irreversible ⁴⁵.

Errores técnicos durante procedimientos pulpares o endodónticos, como sobreinstrumentación, irrigación agresiva, extrusión de irrigantes o contaminación persistente del sistema de conductos, pueden afectar negativamente la viabilidad del tejido pulpar y de los tejidos periapicales. En dientes permanentes inmaduros, estas situaciones pueden interrumpir el desarrollo radicular y comprometer el pronóstico biológico del órgano dentario ⁴¹.

Existen materiales utilizados durante la práctica odontológica que pueden inducir toxicidad pulpar cuando son empleados de forma inadecuada o colocados cerca del tejido pulpar. Sustancias como ácidos grabadores, sistemas adhesivos, materiales restauradores o medicamentos intracanal poseen potencial irritativo sobre las células pulpares. La difusión de estos agentes a través de la dentina puede provocar inflamación persistente, alteraciones vasculares y eventual necrosis pulpar ⁴⁵.

La exposición accidental de la pulpa durante procedimientos operatorios representa otra causa iatrogénica de daño pulpar. Cuando no se realiza un manejo biológico adecuado de la exposición o existe contaminación bacteriana, puede instaurarse un proceso inflamatorio irreversible que culmine en necrosis pulpar. Este riesgo adquiere mayor importancia en dientes inmaduros, donde la pérdida de vitalidad compromete la continuación del desarrollo radicular ⁴⁶.

2.2.4. ALTERACIONES VASCULARES

El compromiso del flujo sanguíneo pulpar representa un factor determinante en el desarrollo de necrosis en dientes permanentes inmaduros. La alteración de la irrigación puede originarse por traumatismos o por aumento de la presión intrapulpar, lo que reduce el aporte de oxígeno y nutrientes al tejido pulpar. Como consecuencia, se produce isquemia y posterior muerte celular, aún en ausencia de infección bacteriana directa ⁴³.

Además, el daño al paquete vasculonervioso es un factor determinante en la aparición de necrosis pulpar en dientes permanentes inmaduros. Este tipo de lesión puede presentarse principalmente tras traumatismos dentales, provocando la interrupción del aporte sanguíneo y de la inervación pulpar. Como resultado, el tejido pulpar pierde su capacidad de respuesta y mantenimiento, lo que conduce a su degeneración y posterior necrosis ⁴³.

2.2.5. FACTORES QUIMICOS O TÉRMICOS

El uso de materiales dentales con potencial irritante puede afectar la salud del tejido pulpar, especialmente en cavidades profundas donde la protección es limitada. Estas sustancias pueden difundirse a través de la dentina y desencadenar una respuesta inflamatoria que, en condiciones desfavorables, puede progresar hacia la necrosis pulpar ⁴⁵.

De este modo, el calor generado durante los procedimientos operatorios, como el uso de instrumental rotatorio sin adecuada refrigeración, puede provocar daño al tejido pulpar. El aumento de la temperatura intrapulpar afecta la microcirculación y puede inducir cambios inflamatorios que, si son severos, pueden evolucionar hacia la necrosis pulpar ²⁹.

2.3. CONSECUENCIAS CLÍNICAS

Los dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar presentan raíces con paredes delgadas y un desarrollo radicular incompleto, lo que los hace más susceptibles a fracturas ²¹. La interrupción temprana de la rizogénesis impide el depósito fisiológico de dentina y cemento, dando lugar a raíces cortas, con pobre relación corona-raíz y menor estabilidad funcional a largo plazo ⁴⁷.

En estos casos, la forma del conducto y sus dimensiones dificultan mucho los procedimientos endodónticos convencionales necesarios debido a que su foramen abierto no proporciona una barrera anatómica de la raíz y es muy difícil mantener el tratamiento endodóntico dentro de los límites del conducto; sobre todo se hace imposible obturarlo de manera tridimensional ⁴⁸. Los dientes con ápice <2 mm suelen presentar un desarrollo radicular más avanzado, lo que puede favorecer la estabilidad estructural y mejorar el pronóstico a largo plazo. Sin embargo, los ápices ampliamente abiertos resultan más favorables para procedimientos endodónticos regenerativos, ya que facilitan el ingreso de células madre, vasos sanguíneos y factores de crecimiento hacia el conducto radicular ⁴⁰.

La necrosis pulpar en dientes inmaduros también suele asociarse con la presencia de patología periapical, caracterizada por inflamación, destrucción ósea y formación de lesiones radiolúcidas apicales secundarias a la infección microbiana del sistema de conductos radiculares. Clínicamente pueden presentarse dolor, sensibilidad a la percusión, inflamación de tejidos blandos, abscesos o tractos sinusales. Cuando el proceso infeccioso persiste, puede comprometerse aún más el potencial de desarrollo radicular y empeorar el pronóstico del diente ¹⁷.

2.4. DIAGNÓSTICO CLÍNICO Y RADIOGRÁFICO

El diagnóstico en dientes permanentes inmaduros se basa en la evaluación clínica y radiográfica, siendo el estado pulpar y el grado de desarrollo radicular factores determinantes para establecer el manejo adecuado ⁴⁹.

Desde el punto de vista clínico, el diagnóstico requiere de una profunda evaluación de signos y síntomas como dolor, sensibilidad a la percusión, inflamación y la presencia de fístula.

PRUEBAS DE VITALIDAD PULPAR

Las pruebas de vitalidad pulpar son útiles para orientar el diagnóstico, aunque pueden presentar limitaciones en dientes permanentes inmaduros como la limitación de la interpretación debido al desarrollo incompleto de la inervación ²⁴.

Prueba térmica al frío: Consiste en aplicar un estímulo frío sobre la superficie dental mediante refrigerantes, dióxido de carbono (CO₂) o hielo, con el objetivo de provocar una respuesta sensorial pulpar. Una respuesta normal se caracteriza por una sensación breve que desaparece al retirar el estímulo; en cambio, una respuesta exagerada, prolongada o ausente puede sugerir inflamación pulpar irreversible o necrosis pulpar. En dientes jóvenes y con ápices inmaduros suele considerarse una de las pruebas más confiables ²⁷.

Prueba térmica al calor: Se emplea principalmente cuando el paciente refiere dolor desencadenado por alimentos o líquidos calientes. Consiste en aplicar un estímulo térmico, generalmente mediante gutapercha calentada, agua caliente o dispositivos electrónicos. Los dientes con inflamación pulpar avanzada pueden presentar dolor intenso y persistente ante este estímulo; en algunos casos, el dolor inducido por calor disminuye con la aplicación de frío, hallazgo frecuentemente asociado a necrosis pulpar ²⁷.

Prueba eléctrica pulpar (EPT): Evalúa la respuesta nerviosa de la pulpa mediante la aplicación de una corriente eléctrica controlada sobre la superficie del diente. Su mecanismo consiste en estimular las fibras nerviosas presentes en el complejo dentinopulpar. Una respuesta positiva indica la presencia de fibras nerviosas funcionales; sin embargo, no confirma el grado de salud pulpar ni su integridad vascular. La ausencia de respuesta puede asociarse con necrosis pulpar, aunque también pueden existir falsos positivos y falsos negativos, especialmente en dientes traumatizados, inmaduros o calcificados ²⁷.

Pruebas vasculares: Evalúan directamente la irrigación pulpar y es considerada el verdadero indicador de vitalidad. Entre ellas; la flujometría Doppler láser y la oximetría de pulso, las cuales miden el flujo sanguíneo o la saturación de oxígeno dentro del tejido pulpar. Aunque ofrecen mayor objetividad diagnóstica, su uso clínico rutinario continúa siendo limitado debido a factores técnicos y disponibilidad del equipo ²⁷.

Desde el punto de vista radiográfico, se pueden identificar características como ápice abierto, clasificado según los estadios de desarrollo radicular previamente descritos en el apartado 1.2, además del desarrollo radicular incompleto, paredes dentinarias delgadas y en casos de necrosis pulpar, la presencia de lesiones periapicales ²⁷. La combinación de los hallazgos clínicos y radiográficos permite diferenciar entre pulpas vitales y necróticas, lo cual es fundamental para establecer el diagnóstico definitivo y orientar el plan de tratamiento ⁵⁰.

La interrupción del desarrollo radicular secundaria a la necrosis pulpar ha motivado la búsqueda de estrategias terapéuticas capaces de preservar el diente y mejorar su pronóstico a largo plazo. Tradicionalmente, la apexificación ha sido el tratamiento de elección para inducir la formación de una barrera apical en dientes inmaduros necróticos; sin embargo, el desarrollo de la endodoncia regenerativa ha ampliado las opciones terapéuticas disponibles, permitiendo considerar alternativas orientadas a favorecer la continuación del desarrollo radicular ¹⁷.

3. APEXIFICACIÓN CON HIDRÓXIDO DE CALCIO Y MTA

Según la Asociación Americana de Endodoncia, la apexificación es un método que induce la formación de una barrera calcificada que oblitera el orificio apical en un diente con ápice abierto o la continuación del desarrollo apical de una raíz incompletamente formada en dientes con pulpa necrótica ⁵¹.

En piezas dentales donde el tejido pulpar del diente permanente joven se necrosa o se desarrolla una patología periapical, el tratamiento tradicional ha sido la apexificación con el fin de inducir la formación de una barrera apical ³⁸.

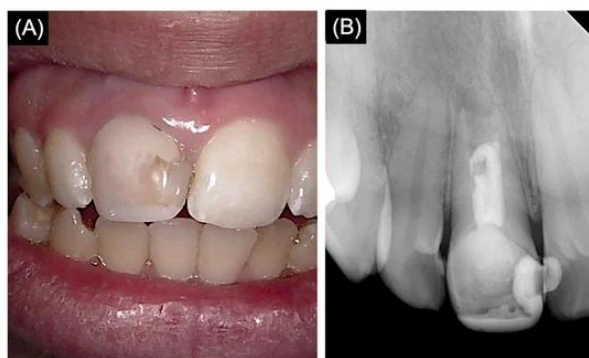


Figura 3. Diente anterior con ápice abierto y antecedente de tratamiento endodóntico, indicado para manejo mediante apexificación ⁵².

3.1. DEFINICIÓN

Es un método de inducción al cierre apical mediante la formación de tejido duro, un tejido duro similar a nivel del ápice o favorece el desarrollo apical continuado de la raíz de un diente permanente joven cuya pulpa ya no se encuentra vital ⁵¹.

3.2. APEXIFICACIÓN CON $\text{Ca}(\text{OH})_2$

La apexificación con hidróxido de calcio de dientes inmaduros con pulpa necrótica que ha sufrido una injuria traumática es un procedimiento cuyo objetivo es inducir una

barrera calcificada en el ápice de manera que una obturación convencional de la raíz pueda ser lograda ⁵³.

La eficacia antibacteriana del hidróxido de calcio ha sido bien establecida, pues la actividad antimicrobiana se relaciona a la liberación de iones hidroxilo, los cuales son altamente oxidantes y muestran una reactividad extrema ⁵⁴.

Varias investigaciones han evidenciado la participación de los iones de calcio del hidróxido de calcio en: mineralizaciones (barrera de dentina) favoreciendo la formación de una barrera apical de tejido duro (sellado biológico apical) en los conductos radiculares y en otras áreas envueltas en mineralizaciones ⁵⁵.

La apexificación con hidróxido de calcio requiere un tiempo de tratamiento prolongado, ya que la formación de la barrera apical puede tardar varios meses y depende de la respuesta biológica del tejido apical. Además, el material debe ser recambiado periódicamente para mantener su efectividad clínica y favorecer la inducción de tejido duro en el ápice ⁵⁶.

3.2.1. MECANISMO DE ACCIÓN

El hidróxido de calcio posee un pH altamente alcalino, lo que le confiere propiedades antibacterianas y la capacidad de inducir necrosis superficial y neutralizar endotoxinas bacterianas ⁵⁶.

Su actividad antimicrobiana se relaciona a la liberación de iones hidroxilo, los cuales son altamente oxidantes y muestran una reactividad extrema. Estos iones causan daño a la membrana citoplasmática de la bacteria, desnaturalización de proteínas y daño al ADN bacterial ⁵⁴.

A nivel tisular, la aplicación de hidróxido de calcio produce una zona de necrosis superficial seguida de la formación de tejido mineralizado ⁵⁷ mediante la deposición de una matriz colágena que posteriormente se mineraliza, favoreciendo la formación de una barrera apical ³⁷.

Además del efecto antimicrobiano y su capacidad de inducir necrosis superficial, el hidróxido de calcio favorece procesos de reparación en el tejido periapical, estimulando la formación de tejido duro mediante la activación de células involucradas en la mineralización, lo que contribuye a la reparación apical progresiva ⁵⁶.

3.2.2. PROTOCOLO CLÍNICO

El procedimiento inicia desde la valoración inicial del paciente, por lo que primero se debe realizar una historia clínica completa, registrando antecedentes médicos, antecedentes odontológicos, motivo de consulta, presencia de dolor, inflamación, fístula, traumatismos previos o antecedentes de caries profunda. Posteriormente se realiza la exploración clínica intraoral y extraoral, valorando cambios de coloración coronaria, movilidad dental, sensibilidad a la percusión y palpación, presencia de edema, tracto sinusal o restauraciones defectuosas. Esta evaluación inicial permite establecer el diagnóstico pulpar y periapical antes de seleccionar el tratamiento ²⁷.

Como parte del diagnóstico, se realizan pruebas clínicas complementarias, incluyendo pruebas de sensibilidad pulpar y pruebas periapicales. En dientes permanentes inmaduros estas pruebas deben interpretarse con precaución, ya que la respuesta puede ser variable por el desarrollo incompleto de la inervación pulpar. Por ello, el diagnóstico no debe basarse en una sola prueba, sino en la combinación de signos, síntomas, hallazgos radiográficos y antecedentes clínicos del paciente ²⁷.

Una vez establecido el diagnóstico con ayuda de parámetros clínicos, se debe tomar una radiografía de diagnóstico para evaluar el grado de desarrollo radicular y el estado periapical ⁵⁷, observando la presencia de ápice abierto, paredes dentinarias delgadas, longitud radicular incompleta y posibles lesiones periapicales. En caso necesario, pueden tomarse radiografías con diferente angulación para valorar mejor la anatomía radicular y confirmar el diagnóstico. También se debe explicar al paciente o a sus padres el diagnóstico, pronóstico, tiempo aproximado del tratamiento, necesidad de varias citas, posibles recambios del hidróxido de calcio y la importancia del

seguimiento clínico y radiográfico. Una vez aceptado el tratamiento, se obtiene el consentimiento informado ⁵⁸.

Antes de iniciar el procedimiento operatorio se verifica que el diente sea restaurable y que pueda aislarse correctamente con dique de goma, ya que el aislamiento absoluto es indispensable para evitar contaminación bacteriana durante el tratamiento. Si el diente presenta pérdida coronaria extensa, fractura vertical, enfermedad periodontal severa o imposibilidad de restauración, el pronóstico debe reevaluarse antes de indicar apexificación ⁵⁸.

Se procede a aplicar anestesia local y el aislamiento del campo operatorio con dique de goma. Posteriormente se realiza el acceso cameral y la eliminación del tejido pulpar necrótico. Se determina la longitud de trabajo ligeramente corta con respecto al ápice radiográfico, seguido de la instrumentación del conducto utilizando limas manuales K o H, con movimientos de limado circunferencial para remover detritos sin ampliar excesivamente la anatomía del conducto ⁵⁷. En dientes con ápice abierto, la instrumentación debe ser cuidadosa y conservadora, ya que las paredes radiculares son delgadas y existe mayor riesgo de debilitamiento o perforación. El objetivo principal no es conformar ampliamente el conducto, sino eliminar restos necróticos y reducir la carga bacteriana sin modificar en exceso la anatomía interna de la raíz ²⁷.

Durante este procedimiento se realiza irrigación con hipoclorito de sodio al 2.5% ⁵², utilizándolo con cuidado y sin presión excesiva para evitar su extrusión hacia los tejidos periapicales debido a la amplitud del foramen apical. La irrigación debe realizarse de manera abundante, con aguja de salida lateral y manteniéndola corta respecto a la longitud de trabajo, ya que en dientes inmaduros no existe una constricción apical definida que limite el paso de la solución irrigante ²⁷, seguida de secado con puntas de papel ⁵⁷.

Una vez desinfectado el conducto, se coloca una pasta de hidróxido de calcio mediante porta-amalgama, léntulo o compactadores, asegurando su condensación hacia la región apical evitando la extrusión del material. Posteriormente se verifica radiográficamente la correcta adaptación del material sin presencia de burbujas ⁵⁷. El

hidróxido de calcio debe ocupar adecuadamente el conducto radicular, ya que su contacto con los tejidos apicales favorece la formación de una barrera de tejido duro. Su acción se relaciona con su pH alcalino, efecto antimicrobiano y capacidad para estimular la reparación periapical y la mineralización ⁵⁹.

Después de colocar el hidróxido de calcio, se debe realizar un sellado provisional adecuado de la cavidad de acceso para evitar microfiltración coronaria y contaminación del sistema de conductos. El sellado temporal debe ser resistente y mantenerse íntegro entre citas, ya que la reinfección del conducto puede retrasar o impedir la formación de la barrera apical ²⁷.

En sesiones posteriores, se aconseja una cita al cabo de un mes, siempre que no aparezca sintomatología en un período más breve de tiempo. En cada cita de control se debe valorar clínicamente la ausencia de dolor, inflamación, fístula o sensibilidad a la percusión, además de revisar radiográficamente la evolución de la lesión periapical y los signos de formación de barrera apical. Si el paciente presenta signos o síntomas persistentes, debe repetirse la desinfección del conducto antes de recolocar el medicamento intracanal ⁵⁸.

Tras el aislamiento del diente, se irriga el conducto se seca y se vuelve a colocar la pasta de hidróxido de calcio. Se recomienda realizar controles clínicos periódicos, generalmente al mes, para valorar la ausencia de signos y síntomas. Sin embargo, el recambio de la pasta intracanal suele efectuarse aproximadamente cada tres meses, ya que el hidróxido de calcio mantiene su actividad biológica durante varias semanas antes de transformarse progresivamente en carbonato de calcio por acción del anhídrido carbónico presente en los tejidos. Además, evitar recambios excesivamente frecuentes disminuye el riesgo de contaminación del conducto y el debilitamiento estructural de la dentina radicular ⁵⁷.

El tiempo necesario para la formación de la barrera apical con hidróxido de calcio es variable y puede extenderse durante varios meses. Se ha reportado que el procedimiento tradicional puede requerir de 6 a 18 meses, dependiendo del grado de desarrollo radicular, tamaño del ápice, presencia de infección periapical, calidad del

sellado coronario y cooperación del paciente. Por esta razón, el cumplimiento de las citas de seguimiento es fundamental para el éxito del tratamiento ⁵⁹.

La formación de la barrera apical se confirma mediante evaluación radiográfica y exploración clínica cuidadosa del extremo apical del conducto. Radiográficamente puede observarse una estructura calcificada en la zona apical; clínicamente, se percibe una resistencia o “tope” apical al introducir suavemente una lima o punta de papel. Esta valoración debe realizarse con cuidado para no perforar o alterar la barrera formada ⁵⁴.

Después de la formación de la barrera apical, se debe proceder a la obturación del conducto radicular, ya que dicha barrera puede no ser completamente continua ⁵⁴. Antes de obturar, el hidróxido de calcio debe retirarse cuidadosamente mediante irrigación y limado suave, procurando no ejercer presión excesiva hacia el ápice. Posteriormente, el conducto se seca y se realiza la obturación definitiva con gutapercha y cemento sellador, apoyándose en la barrera apical formada para evitar la extrusión del material obturador hacia los tejidos periapicales ⁵⁴.

Finalmente, se debe realizar una restauración coronaria definitiva que garantice un sellado adecuado y evite la reinfección del sistema de conductos. La restauración final es un paso importante del tratamiento, ya que la microfiltración coronaria puede comprometer la reparación periapical y el pronóstico del diente tratado. Posteriormente, se indican controles clínicos y radiográficos periódicos para valorar ausencia de sintomatología, resolución de la lesión periapical, estabilidad de la barrera apical y permanencia funcional del diente en boca ²⁷.



Figura 4. Radiografía periapical de diente con ápice abierto tratado mediante barrera apical con MTA ⁶⁰.

3.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRATAMIENTO

Según Rafter, las ventajas del hidróxido de calcio son conocidas desde los primeros trabajos que aparecieron en 1930, entre los que destacan propiedades antibacterianas (limitando la infección bacteriana, estimula la formación de tejido duro cuando es aplicado en tejidos con ese potencial (tejidos pulpar y periodontal). Además, actúa como una base fuerte con un pH aproximado de 12.5 y presenta biocompatibilidad ⁶¹.

Los iones calcio liberados por el hidróxido de calcio desempeñan un papel fundamental en la inducción de la mineralización, favoreciendo la formación de tejido duro como dentina, cemento y hueso, lo que contribuye a la reparación apical ⁵⁶.

Entre las principales desventajas se encuentra el tiempo prolongado del tratamiento, ya que la formación de una barrera apical mediante apexificación con hidróxido de calcio puede variar considerablemente, reportándose periodos que oscilan entre varios meses hasta más de un año ⁵⁹. Asimismo, el tratamiento requiere múltiples recambios de la medicación intraconducto, lo que incrementa el número de visitas clínicas y el riesgo de reinfección del sistema de conductos durante el tratamiento ⁵⁴.

Como alternativa, la mezcla de hidróxido de calcio con gel de clorhexidina al 2% y óxido de zinc ha sido propuesta, ya que mantiene la actividad antibacteriana, mejora su acción residual y aumenta la consistencia y radiopacidad del material. Esta combinación permite una mayor estabilidad dentro del conducto, reduciendo la necesidad de recambios y, con ello, el riesgo de debilitamiento estructural asociado ⁶².

El tratamiento de dientes permanentes inmaduros representa un desafío clínico debido a la dificultad para realizar la limpieza y el modelado del sistema de conductos, lo cual se relaciona con las paredes dentinarias delgadas. Asimismo, la obturación se complica debido a la ausencia de un cierre apical definido y a la anatomía irregular del ápice inmaduro, lo que dificulta el control tridimensional del material de obturación ⁶³.

A pesar de que la apexificación con hidróxido de calcio continúa siendo una alternativa terapéutica ampliamente utilizada y con resultados clínicos favorables, el tiempo prolongado de tratamiento y la permanencia del medicamento intracanal durante

largos periodos pueden favorecer el debilitamiento de las paredes dentinarias, incrementando la susceptibilidad a fracturas radiculares cervicales. Por esta razón, en la actualidad se han desarrollado alternativas como la apexificación con MTA y los procedimientos endodónticos regenerativos, los cuales buscan disminuir el tiempo de tratamiento y mejorar el pronóstico estructural del diente inmaduro ⁴⁷.

3.3. APEXIFICACIÓN CON AGREGADO DE TRIÓXIDO MINERAL (MTA)

El agregado de trióxido mineral se ha propuesto como una alternativa para la apexificación, permitiendo la formación de una barrera apical artificial en menor tiempo y con menos citas clínicas ⁵⁷.

3.3.1. MECANISMO DE ACCIÓN

El MTA es un material biocerámico con alta biocompatibilidad ⁶⁴, compuesto principalmente por silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrita tetracálcica, sulfato de calcio y óxido de bismuto. El silicato tricálcico y el silicato dicálcico participan en la hidratación y endurecimiento del material, favoreciendo además la liberación de iones calcio relacionados con la formación de tejido mineralizado. El aluminato tricálcico interviene en el tiempo de fraguado, mientras que el sulfato de calcio ayuda a regular dicho proceso. Por su parte, el óxido de bismuto se incorpora para proporcionar radiopacidad y permitir la visualización radiográfica del material ⁶⁵. Estas propiedades explican la capacidad del MTA para favorecer el sellado apical y la reparación de los tejidos periapicales ⁶⁵.

La interacción del MTA con los fluidos tisulares favorece la liberación de iones calcio, lo que induce la formación de hidroxiapatita en su superficie y promueve un ambiente bioactivo que estimula la mineralización y la reparación de los tejidos periapicales ⁶⁶.

3.3.2. PROTOCOLO CLÍNICO

El procedimiento inicia con la valoración integral del paciente, realizando historia clínica, antecedentes médicos y odontológicos, motivo de consulta, presencia de dolor, inflamación, fístula o antecedente de traumatismo dental. También se realiza exploración clínica intraoral y extraoral, valorando movilidad, cambio de coloración, sensibilidad a la percusión y palpación, presencia de edema, restauraciones defectuosas o pérdida estructural coronaria. Esta valoración permite establecer el diagnóstico pulpar y periapical antes de indicar el tratamiento ²⁷.

Como parte del diagnóstico, se realizan pruebas de sensibilidad pulpar, pruebas periapicales y estudio radiográfico. En dientes permanentes inmaduros estas pruebas deben interpretarse con precaución, ya que la respuesta pulpar puede ser variable por el desarrollo incompleto de la inervación. Por ello, el diagnóstico debe basarse en la combinación de signos clínicos, síntomas, antecedentes y hallazgos radiográficos ²⁷.

Se debe realizar una evaluación radiográfica del diente, con el fin de determinar el grado de desarrollo radicular y el estado del tejido periapical. Radiográficamente se debe valorar la presencia de ápice abierto, paredes dentinarias delgadas, longitud radicular incompleta y posible lesión periapical. Antes de iniciar el tratamiento se debe explicar al paciente o a sus padres el diagnóstico, pronóstico, alternativas terapéuticas, número aproximado de citas y la importancia del seguimiento clínico y radiográfico. Posteriormente se obtiene el consentimiento informado ⁵⁸. Antes del procedimiento se debe confirmar que el diente sea restaurable y que pueda aislarse adecuadamente con dique de goma. Si existe fractura vertical, pérdida coronaria extensa, enfermedad periodontal avanzada o imposibilidad de restauración, el pronóstico debe reevaluarse antes de indicar la apexificación ⁵⁸.

Se inicia el procedimiento clínico aplicando anestesia local y el aislamiento absoluto del campo operatorio mediante dique de goma, seguido del acceso cameral. Una vez expuesto el sistema de conductos, se procede a la eliminación del tejido necrótico y a la irrigación abundante con hipoclorito de sodio al 2.5%, determinando posteriormente la longitud de trabajo ligeramente corta del ápice radiográfico para evitar la

sobreinstrumentación. La preparación biomecánica del conducto se lleva a cabo mediante instrumentación con limas tipo K o H, realizando un limado circunferencial con el objetivo de remover detritos y alisar las paredes sin modificar excesivamente su diámetro, acompañada de irrigación continua con hipoclorito de sodio al 2.5%. Finalmente, el conducto se seca con puntas de papel estériles. La instrumentación debe ser conservadora, ya que las paredes dentinarias en estos dientes son delgadas y pueden debilitarse con facilidad. El objetivo principal es eliminar restos necróticos y reducir la carga bacteriana, sin ampliar excesivamente el conducto ²⁷.

Cuando existe exudado persistente, sintomatología o infección activa, se recomienda colocar medicación intracanal, comúnmente hidróxido de calcio, y realizar un sellado provisional hasta la siguiente cita. Una vez que el diente se encuentra asintomático y el conducto puede secarse adecuadamente, se continúa con la colocación del tapón apical de MTA. En casos seleccionados, cuando no existe exudado ni sintomatología, la apexificación con MTA puede realizarse en una sola cita ¹⁰.

Previo a la colocación del MTA, se realiza una irrigación final con EDTA y clorhexidina al 2%, seguida del secado del conducto. Si se utiliza clorhexidina después del hipoclorito de sodio, debe realizarse un enjuague intermedio con solución salina o agua estéril para evitar la formación de precipitados. Posteriormente, el conducto se seca cuidadosamente con puntas de papel estériles ⁶⁷.

El material se prepara de acuerdo con las indicaciones del fabricante y se introduce dentro del conducto, procurando su adecuada adaptación a nivel apical mediante condensación cuidadosa con instrumentos de menor calibre al diámetro del conducto. Se recomienda un espesor mínimo aproximado de 4 mm para garantizar un sellado apical adecuado y estable. El MTA debe colocarse únicamente en el tercio apical, formando un tapón compacto que sirva como barrera artificial contra la cual posteriormente pueda obturarse el resto del conducto ⁶⁴.

Posteriormente, se coloca una torunda de algodón estéril ligeramente humedecida sobre el MTA para favorecer su proceso de hidratación y fraguado, ya que este material requiere presencia de humedad para endurecer adecuadamente. La torunda se

posiciona cuidadosamente en la entrada del conducto sin ejercer presión sobre el tapón apical, evitando alterar su adaptación. Después, la cavidad de acceso se sella provisionalmente con un material temporal que impida la filtración bacteriana entre citas. El paciente es informado sobre la importancia de evitar masticar alimentos duros con el diente tratado y acudir inmediatamente en caso de presentar dolor intenso, inflamación o desprendimiento de la restauración provisional ⁶⁴.

En la siguiente cita, generalmente entre 7 y 14 días después, se realiza nuevamente anestesia local si es necesario y aislamiento absoluto con dique de goma. Posteriormente se retira cuidadosamente el material provisional y la torunda de algodón para verificar clínicamente el correcto fraguado del MTA mediante exploración suave con un instrumento manual. Una vez confirmada la dureza y estabilidad del tapón apical, se procede a la obturación del resto del conducto radicular con gutapercha y cemento sellador, o bien a la restauración definitiva según el caso clínico y la cantidad de estructura dentaria remanente ^{61, 10}, procurando un sellado hermético que disminuya el riesgo de microfiltración y reinfección del sistema de conductos ¹⁰.

Posteriormente, el paciente debe mantenerse en controles clínicos y radiográficos periódicos para valorar la resolución de la lesión periapical, la ausencia de signos y síntomas clínicos y la permanencia funcional del diente en boca ¹⁰.

El uso de MTA en apexificación ha demostrado un comportamiento favorable en la formación de una barrera apical estable, siendo el espesor del material un factor determinante para su eficacia, con un mínimo recomendado de 4 mm para obtener un sellado adecuado ⁵⁹. Posteriormente debe realizarse la restauración coronaria definitiva lo antes posible, ya que el sellado coronal es fundamental para evitar la reinfección del sistema de conductos y mantener la reparación periapical ²⁷.

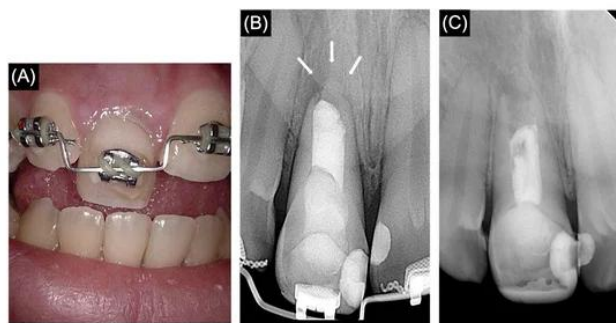


Figura 5. Seguimiento radiográfico de apexificación con material biocerámico en diente con ápice abierto ⁵².

3.3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El MTA es un material biocompatible, bioactivo y con excelente capacidad de sellado, capaz de inducir la formación de tejido duro y favorecer la reparación de los tejidos periapicales, lo que permite obtener resultados más predecibles en la apexificación ⁶⁴.

Entre las principales desventajas del MTA se encuentra su incapacidad para reforzar la dentina radicular, así como su elevado costo en comparación con otros materiales utilizados en apexificación ⁶⁸.

Además, aunque presenta ventajas clínicas, la apexificación con MTA no permite la continuación del desarrollo radicular, lo que puede dar lugar a una estructura radicular más frágil en comparación con dientes que logran maduración completa ⁶⁹.

A diferencia del hidróxido de calcio, cuyo uso prolongado se ha asociado con una mayor fragilidad de la dentina radicular ⁴⁷, el MTA permite acortar significativamente el tiempo de tratamiento, disminuyendo la necesidad de múltiples recambios de medicación intracanal y reduciendo el riesgo de contaminación bacteriana entre citas. Sin embargo, aunque favorece la formación rápida de una barrera apical artificial y presenta resultados clínicos predecibles, esta técnica no promueve la continuación del desarrollo radicular ni el engrosamiento de las paredes dentinarias, por lo que el diente puede permanecer estructuralmente debilitado a largo plazo. Además, el MTA presenta un costo elevado en comparación con otros materiales utilizados en apexificación ¹⁰.

4. ENDODONCIA REGENERATIVA / REVASCULARIZACIÓN

La endodoncia contemporánea ha evolucionado hacia enfoques terapéuticos que no solo buscan la eliminación de microorganismos del sistema de conductos radiculares, sino también la restauración biológica de los tejidos dañados. Dentro de este contexto surge la terapia endodóntica regenerativa, definida como un conjunto de procedimientos biológicamente basados cuyo objetivo es reemplazar estructuras dentarias dañadas ⁷⁰.

4.1 TERAPIA ENDODÓNTICA REGENERATIVA

Según la definición clásica utilizada en el artículo de la American Association of Endodontists, la terapia endodóntica regenerativa son procedimientos basados biológicamente diseñados para sustituir estructuras dañadas, incluyendo dentina y estructuras radiculares, así como células del complejo pulpo-dentina ⁷¹. Este enfoque se fundamenta en los principios de la medicina regenerativa, la cual utiliza células madre, andamios tridimensionales y factores de crecimiento para favorecer la regeneración del complejo dentinopulpar y restaurar la funcionalidad del diente ⁷².

Los procedimientos regenerativos están especialmente indicados en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, debido a su alto potencial de reparación y a la presencia de un ambiente biológico favorable para la regeneración tisular ⁷³.

Dentro de estos procedimientos se incluyen técnicas como la revascularización del conducto radicular, la revitalización y la maturogénesis, las cuales buscan inducir la formación de tejido vital dentro del espacio pulpar ⁶³.

La revascularización en dientes inmaduros ha sido ampliamente documentada, especialmente en dientes reimplantados; sin embargo, la infección puede interferir con este proceso ²⁴.

4.2. BASES BIOLÓGICAS DE LA TERAPIA REGENERATIVA

La terapia endodóntica regenerativa se fundamenta en principios biológicos orientados a favorecer la reparación y regeneración de los tejidos del complejo pulpo-dentina, aprovechando el potencial biológico presente en dientes permanentes inmaduros ⁷⁴ y tiene dos áreas de investigación para la regeneración de los tejidos pulpares: La regeneración tisular guiada y la ingeniería tisular ⁷⁵.

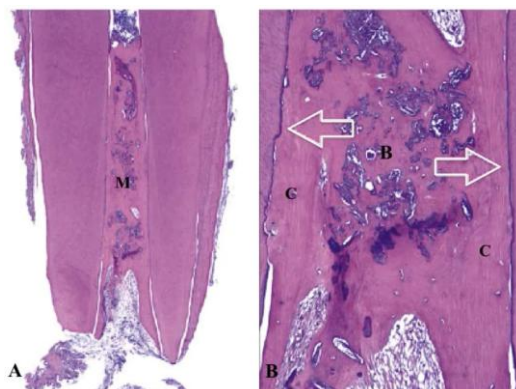


Figura 6. Imagen histológica de tejido mineralizado formado dentro del espacio del conducto después de un procedimiento regenerativo ⁷⁶.

En este contexto, el éxito del tratamiento depende de la interacción entre células, señales biológicas y condiciones del microambiente del conducto radicular, lo que permite la restauración de estructuras dentales dañadas en dientes con necrosis pulpar ⁷⁵.

4.2.1. REGENERACION TISULAR GUIADA

La regeneración tisular guiada es un enfoque biológico que se basa en el control del microambiente para favorecer la repoblación de células con potencial regenerativo, mediante la exclusión de tejidos no deseados ⁷⁴. Este principio se aplica mediante la desinfección del conducto radicular y la creación de condiciones que permitan la formación de un coágulo de sangre el cual actúa como una matriz natural para la migración y proliferación celular. Sin embargo, el tejido resultante no siempre

corresponde a tejido pulpar verdadero, sino a una combinación de tejido conectivo, cemento o hueso, lo que representa una de sus principales limitaciones ⁷⁵.

Además, uno de los principales retos de la regeneración tisular guiada en endodoncia es el control del microambiente intraconducto, ya que la presencia de infección, la variabilidad en la formación del coágulo y las condiciones del huésped pueden influir directamente en el tipo de tejido que se forma y en el resultado del tratamiento ⁴⁰.

4.2.2. TRIADA DE LA INGENIERÍA TISULAR

La ingeniería de tejidos es un campo interdisciplinario que integra los principios de la biología y la ingeniería para desarrollar sustitutos biológicos que permitan regenerar tejidos u órganos y restaurar su función ⁷¹.

La hipótesis básica de la ingeniería tisular define que mediante la colocación local de un factor apropiado en la correcta dosis y por un periodo de tiempo definido se logra el reclutamiento, la proliferación y la diferenciación de células de zonas adyacentes que participaran en la reparación y/o regeneración de tejidos en la zona afectada ⁶⁹.

Para lograr la regeneración de tejidos, la ingeniería tisular se basa en tres elementos fundamentales: células madre, andamios (scaffold) y factores de crecimiento, los cuales interactúan para permitir la regeneración de los tejidos proporcionando un entorno adecuado para la proliferación, diferenciación celular y organización estructural del tejido regenerado, y serán descritos con mayor detalle en los siguientes apartados ⁵¹.

Diversos tipos de células madre han sido identificados en el ámbito odontológico, incluyendo las células madre de la pulpa dental (DPSCs), de la médula ósea (BMSCs), de dientes deciduos exfoliados (SHED) y, especialmente, las células madre de la papila apical (SCAP), las cuales poseen un alto potencial proliferativo y capacidad de diferenciación hacia tejidos duros como dentina y hueso ⁷⁷. En dientes permanentes inmaduros con ápice abierto, se facilita la migración de células madre-progenitoras hacia el conducto radicular, lo que favorece los procesos regenerativos. Asimismo, las SCAP, desempeñan un papel fundamental en el desarrollo radicular y pueden

sobrevivir incluso en condiciones de necrosis pulpar, contribuyendo a la formación de nuevo tejido durante los procedimientos de revascularización ^{78, 79}.

El objetivo de los procedimientos endodónticos regenerativos es reemplazar el complejo dentinopulpar dañado por tejido vital capaz de restaurar la función fisiológica ¹⁷.

El éxito de la ingeniería tisular en endodoncia depende de la interacción coordinada entre células madre, andamios y factores de crecimiento, los cuales actúan de manera sinérgica para favorecer la regeneración del tejido pulpar y la restauración funcional del diente ⁵¹.

4.2.2.1. CELULAS MADRE / PROGENITORAS DE LA PULPA DENTAL

Las células madre son células primarias indiferenciadas que conservan la capacidad de dividirse y diferenciarse en otros tipos celulares. Tienen dos características importantes. La primera, es que son autorrenovables. La segunda es que cuando se dividen algunas células hijas dan lugar a células que mantienen el carácter de célula madre y otras dan lugar a células diferenciadas. Las células madre mesenquimales han sido identificadas en muchos tejidos y son capaces de diferenciarse en muchos linajes de células como osteogénica, condrogénica, adipogénica, miogénica y neurogénica, cuando se cultivan en condiciones definidas ⁵¹.

Los tejidos residuales viables de la pulpa y papila apical pueden suministrar células madre a los dientes enfermos para el desarrollo radicular continuado. Este proceso requiere la participación tanto de células epiteliales de la vaina radicular de Hertwig (HERS) como de odontoblastos. Las células de la vaina radicular de Hertwig se localizan en la región apical de raíces inmaduras y han demostrado ser resistentes incluso en presencia de inflamación ⁸⁰.

Además, las células de la vaina radicular de Hertwig (HERS) pueden inducir a la diferenciación de células madre mesenquimales en odontoblastos los cuales subsecuentemente forman la dentina radicular. Estas células madre mesenquimales pueden principalmente provenir del tejido pulpar residual o del tejido de la papila apical

(SCAPs) de diente permanentes inmaduros. Las SCAPs pueden sobrevivir a la infección por su proximidad a la rica vascularización de tejidos periapicales. Después de la desinfección endodóntica efectiva, bajo la influencia de las células epiteliales de la vaina radicular de Hertwig que sobrevivieron, las SCAPs pueden diferenciarse en odontoblastos primarios para completar la formación del ápice radicular. La segunda fuente posible de células madre que puede contribuir al desarrollo radicular apical son las del ligamento periodontal o de la médula ósea ⁸¹.

Desde el punto de vista clínico, se ha observado cierto grado de desarrollo radicular, lo cual se ha atribuido a la presencia de tejido pulpar residual o células madre de la papila apical, así como a la amplia apertura apical que permite la revascularización ⁸¹.

Cuando todo el tejido pulpar, papila apical y células HERS (células epiteliales de la vaina radicular de Hertwig) se pierden, es evidente que la autoregeneración de la pulpa es muy poco probable que ocurra. No obstante, en dientes con amplios ápices abiertos, donde la necrosis ocurre en un campo estéril, otros tejidos como el cemento y el ligamento periodontal pueden interactuar para llenar el espacio del conducto radicular; sin embargo, este tejido no corresponde a tejido pulpar verdadero y puede presentar susceptibilidad a reinfección ⁸².

4.2.2.2. ANDAMIOS

Los andamios o matrices proporcionan un microambiente tridimensional que favorece la adhesión, proliferación y diferenciación celular, permitiendo la formación de nuevos tejidos (como puede ser un coágulo sanguíneo). En el contexto endodóntico, el coágulo sanguíneo puede actuar como un andamio natural ⁵¹.

Para que una matriz cumpla adecuadamente su función en los procesos regenerativos, debe presentar ciertas características, entre las que destacan: alta porosidad y un tamaño de poro adecuado que facilite la difusión de nutrientes y el crecimiento celular; gran área de superficie; capacidad de degradarse de forma controlada para ser reemplazada por tejido regenerado; biocompatibilidad; capacidad de interactuar

favorablemente con las células en términos de adhesión, crecimiento y migración; así como adecuada resistencia física y mecánica ³⁸.

En endodoncia regenerativa, además del coágulo sanguíneo, se han propuesto otros tipos de andamios como el plasma rico en plaquetas (PRP) y el plasma rico en fibrina (PRF), los cuales aportan una matriz tridimensional más estable y rica en factores de crecimiento. Estos biomateriales pueden favorecer la migración celular y mejorar el proceso de regeneración tisular dentro del conducto radicular ⁸³.

4.2.2.3. FACTORES DE CRECIMIENTO

Las moléculas bioactivas, incluidos los factores de crecimiento y morfógenos, desempeñan un papel fundamental en la regeneración tisular, ya que regulan la proliferación, migración y diferenciación celular, permitiendo la formación de tejidos funcionales ⁵¹.

Las citocinas son mediadores biológicos que regulan la respuesta inflamatoria y la reparación tisular; entre ellas, la interleucina-2 participa en la activación y proliferación de linfocitos, contribuyendo a la respuesta inmune y a los procesos de cicatrización ⁸⁴.

Durante los procedimientos regenerativos, los factores de crecimiento liberados durante los procedimientos regenerativos pueden estimular la actividad de células madre y promover la formación de nuevos tejidos en el conducto radicular ⁴⁰. Asimismo, las moléculas bioactivas liberadas desde la dentina y los tejidos periapicales actúan como señales que inducen la diferenciación celular y la formación de nuevos tejidos durante los procedimientos regenerativos ⁸⁵.

En el contexto de la endodoncia regenerativa, uno de los factores de crecimiento más importante es la dentina radicular, la cual, tras los procedimientos de irrigación, puede liberar moléculas bioactivas que favorecen la diferenciación celular y la regeneración tisular ⁸⁵.

El éxito de la regeneración endodóntica depende de la interacción entre células madre, andamios y moléculas bioactivas que crean un microambiente adecuado para la formación de nuevo tejido dentro del conducto radicular ⁸⁶.

4.3. REVASCULARIZACIÓN EN ENDODONCIA

Huang, et al. definen a la revascularización como un tratamiento regenerativo alternativo, basado en tratar dientes inmaduros con pulpa necrótica por caries o por trauma que permite el desarrollo radicular y la deposición de tejido duro en el conducto. Este enfoque se basa en el concepto de que las células madre vitales que pueden sobrevivir a la necrosis pulpar son capaces de diferenciarse en odontoblastos secundarios y contribuir a la conformación del tejido radicular ⁸⁷. Algunos autores también utilizan los términos revitalización o maturogénesis para referirse a estos procedimientos regenerativos, dependiendo del enfoque biológico y del tipo de tejido formado en el interior del conducto radicular.

La revascularización comenzó como un tratamiento innovador, inicialmente su abordaje fue solo de manera experimental y con el tiempo fue arrojando resultados favorables porque podía observarse la continuidad en la formación radicular de los órganos dentales y el reemplazo de los tejidos que se habían perdido, tiempo después se descubrió que esto se daba por el flujo de células madre que van desde la papila apical hasta el interior del conducto radicular ³⁴.

El procedimiento consiste en la desinfección de los conductos y el establecimiento del sangrado dentro de éste por sobreinstrumentación, ya que a diferencia de las técnicas de apexificación y barrera apical artificial, la revascularización permite la continuación del desarrollo radicular y además está indicada en dientes con ápice inmaduro, que han sufrido trauma de avulsión o en dientes necróticos con ápices inmaduros de 1,1 mm de diámetro como mínimo. Este coágulo sanguíneo favorece la formación de una matriz de fibrina, que atrapa las células capaces de iniciar la formación de nuevos tejidos ⁶⁹.

La formación de este coágulo sanguíneo dentro del conducto radicular actúa como andamiaje para el ingreso de células madre, particularmente de la papila apical, las cuales pueden sobrevivir y contribuir al desarrollo radicular en dientes inmaduros necróticos ⁴⁰.

Sin embargo, la naturaleza del tejido formado en el espacio del conducto y su composición celular aún está por ser identificados. Dos estudios recientes en animales demostraron que el tejido vital formado en el espacio del conducto fue un tejido conectivo similar al ligamento periodontal y las paredes dentinarias fueron engrosadas por la aposición de tejido nuevamente formado tipo cemento ⁶⁹. Además, el éxito del procedimiento depende en gran medida del adecuado control de la infección y de un sellado coronal hermético, ya que la persistencia de microorganismos puede comprometer el proceso regenerativo.

Una de las principales ventajas de los procedimientos endodónticos regenerativos sobre los procedimientos de apexificación es que permite el alargamiento y engrosamiento de la raíz (es decir, la maduración) de forma continua por el tejido vital generado. Con la mejora de los procedimientos endodónticos regenerativos, estos podrían convertirse en el estándar de casos sobre procedimientos de apexificación y enfoque similar que podría aplicarse para el tratamiento de los dientes infectados maduros ⁸⁶.

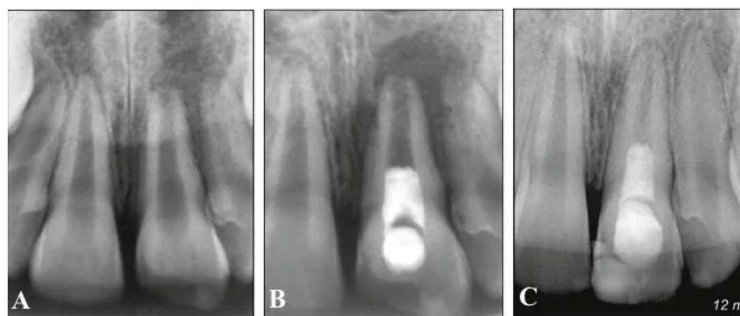


Figura 7. Secuencia radiográfica de diente permanente inmaduro tratado mediante procedimiento regenerativo, con seguimiento a 12 meses ⁷⁶.

4.4. PROTOCOLO CLÍNICO

Los procedimientos endodónticos regenerativos constituyen una alternativa terapéutica para el manejo de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, cuyo objetivo es promover la desinfección del sistema de conductos radiculares y favorecer la regeneración de tejido vital que permita la continuación del desarrollo radicular. Para su correcta ejecución, se han establecido protocolos clínicos basados en guías internacionales como las propuestas por la American Association of Endodontists y la European Society of Endodontology^{17, 38}.

Las recomendaciones más recientes de la American Association of Endodontists y de la European Society of Endodontology consideran a los procedimientos endodónticos regenerativos como una alternativa terapéutica indicada en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, debido a su potencial para favorecer la continuación del desarrollo radicular y el fortalecimiento estructural del diente⁸⁸.

Previo al inicio del tratamiento, debe realizarse una historia clínica completa, evaluación médica y odontológica, análisis de antecedentes traumáticos o infecciosos, exploración clínica intra y extraoral, pruebas diagnósticas (percusión, palpación y movilidad) y evaluación radiográfica mediante radiografía periapical y, cuando sea necesario, tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Asimismo, se debe confirmar que el diente sea restaurable y obtener el consentimiento informado del paciente o de sus padres o tutores¹⁷.

En la primera cita del tratamiento se debe obtener el consentimiento informado explicando al paciente y/o a sus padres los riesgos, beneficios y alternativas de tratamiento. Posteriormente, se debe administrar anestesia local y aislar el campo operatorio con dique de goma. Se lleva a cabo el acceso al sistema de conductos radiculares, se determina la longitud de trabajo y se realiza una irrigación cuidadosa con soluciones desinfectantes: hipoclorito de sodio al 1,5% (20 ml por canal, durante 5 min), seguida de irrigación con solución salina (20 ml por canal, durante 5 min), evitando la extrusión hacia los tejidos periapicales^{17, 38}.

A diferencia de la endodoncia convencional, la instrumentación mecánica debe ser mínima o inexistente para preservar las células madre presentes en la papila apical y evitar el debilitamiento adicional de las paredes dentinarias. Por esta razón, la desinfección química constituye el principal mecanismo de control de la infección ²⁰.

Tras el secado del conducto, se coloca medicación intracanal en los tercios coronal y medio del conducto radicular y finalmente se realiza un sellado provisional del acceso ¹⁷. Las opciones más utilizadas como medicación intracanal son el hidróxido de calcio, la pasta doble antibiótica o la pasta triple antibiótica. Actualmente, muchos protocolos favorecen el uso de hidróxido de calcio debido a su menor citotoxicidad sobre las células madre apicales y menor riesgo de pigmentación coronaria ¹⁷.

La pasta triple antibiótica está compuesta por metronidazol, ciprofloxacino y minociclina; se recomienda utilizar concentraciones inferiores a 1 mg/mL o, según protocolos clínicos, no exceder 100 mg de cada antibiótico por mL para disminuir los efectos citotóxicos sobre las células madre y reducir el riesgo de decoloración dental. La medicación intracanal suele mantenerse entre 2 y 4 semanas antes de la siguiente cita clínica ⁸⁹.

La segunda visita, debe programarse entre dos y cuatro semanas después, siempre y cuando el paciente se encuentre asintomático ^{17, 38}. En caso de persistir signos o síntomas clínicos (sensibilidad a la palpación o percusión, inflamación de tejidos blancos o presencia de tracto sinusal), se deberá repetir el protocolo de desinfección y en este punto se puede optar por usar pasta doble o triple antibiótica a no más de 100 mg de cada fármaco/mL ¹⁷ con el objetivo de potenciar el control de la infección intraconducto. La medicación intracanal se mantiene generalmente entre 2 y 4 semanas, tras lo cual el paciente debe ser reevaluado clínicamente. Si persisten los signos de infección, puede realizarse un nuevo recambio de la medicación antes de continuar con la fase regenerativa. El procedimiento de inducción del sangrado únicamente debe realizarse cuando el paciente se encuentre completamente asintomático y no existan evidencias clínicas de infección activa ¹⁷.

Si el paciente está asintomático, se administra anestesia local sin vasoconstrictor, se realiza el aislamiento absoluto y se elimina la medicación intracanal mediante irrigación con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) al 17% (30 ml durante 10 minutos) ^{17, 38}.

El uso de EDTA favorece la liberación de proteínas de la matriz dentinaria y factores de crecimiento como TGF- β , los cuales contribuyen a la proliferación y diferenciación celular durante los procesos regenerativos ⁸⁵.

Posteriormente se debe provocar un sangrado apical mediante una lima K precurvada tamaño #20 o #25 a 2 mm más allá del foramen apical. Una vez inducido el sangrado, se recomienda esperar entre 10 y 15 minutos para permitir la formación y estabilización del coágulo sanguíneo hasta aproximadamente 2 o 3 mm por debajo de la unión cemento-esmalte. El coágulo funcionará como un andamiaje biológico natural para la migración celular y la formación de nuevo tejido dentro del conducto radicular ¹⁷.

Una vez formado el coágulo, se puede colocar una barrera sobre el mismo utilizando materiales biocerámicos como el MTA o biodentine ⁸³.

Se recomienda colocar una barrera biocerámica de aproximadamente 3 a 4 mm de espesor sobre el coágulo. Después del fraguado del material, se coloca una base de ionómero de vidrio de 3 a 4 mm y posteriormente una restauración definitiva con resina compuesta para garantizar un sellado coronal hermético ⁹⁰.

El seguimiento clínico y radiográfico es esencial para evaluar la cicatrización y el desarrollo radicular ^{17, 13}. Durante los controles periódicos se evalúa la ausencia de dolor, inflamación, sensibilidad a la percusión, presencia de fístulas o signos de reinfección, así como la evolución radiográfica de la lesión periapical y el desarrollo radicular continuo ¹⁴.

Se recomienda realizar controles clínicos y radiográficos a los 3 y 6 meses posteriores al tratamiento y posteriormente de forma anual durante al menos 4 años. Entre los primeros 6 y 12 meses suele observarse la resolución progresiva de las lesiones periapicales, mientras que los cambios relacionados con la maduración radicular,

como el aumento de longitud y el engrosamiento de las paredes dentinarias, generalmente se evidencian entre los 12 y 24 meses posteriores al procedimiento ³⁸.

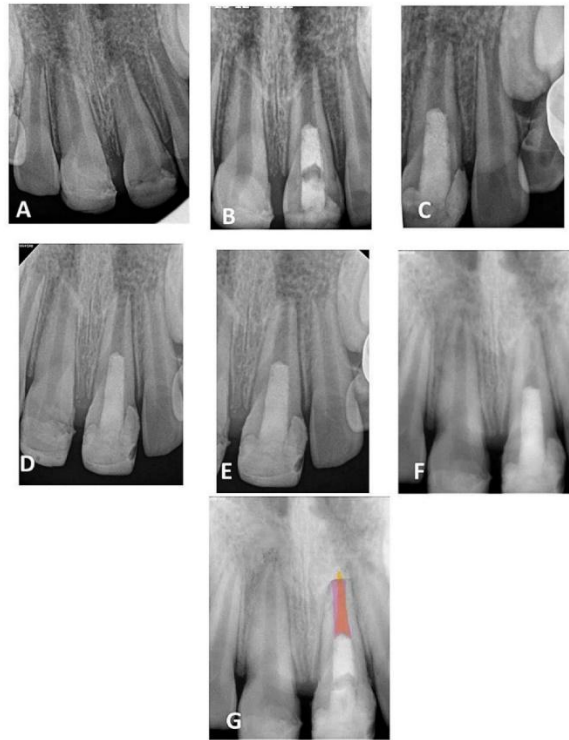


Figura 8. Seguimiento radiográfico de un diente permanente inmaduro tratado mediante procedimiento endodóntico regenerativo. Se observa la reducción progresiva del diámetro apical, el engrosamiento de las paredes dentinarias y el aumento de la longitud radicular durante los controles posteriores al tratamiento ⁹¹.

La CBCT puede emplearse como método complementario para la evaluación inicial y el seguimiento de casos seleccionados, ya que permite valorar con mayor precisión la cicatrización periapical, los cambios en el desarrollo radicular y el grosor de las paredes dentinarias ^{92, 93}.

En conjunto, los procedimientos endodónticos regenerativos representan una alternativa terapéutica biológicamente orientada para el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. Su éxito depende principalmente de una adecuada desinfección del sistema de conductos, la formación de un andamiaje

biológico capaz de favorecer la migración celular y un sellado coronal efectivo que prevenga la reinfección. Cuando estas condiciones se cumplen, es posible favorecer la resolución de la patología periapical y la continuación del desarrollo radicular, mejorando el pronóstico estructural y funcional del órgano dentario a largo plazo ¹³.

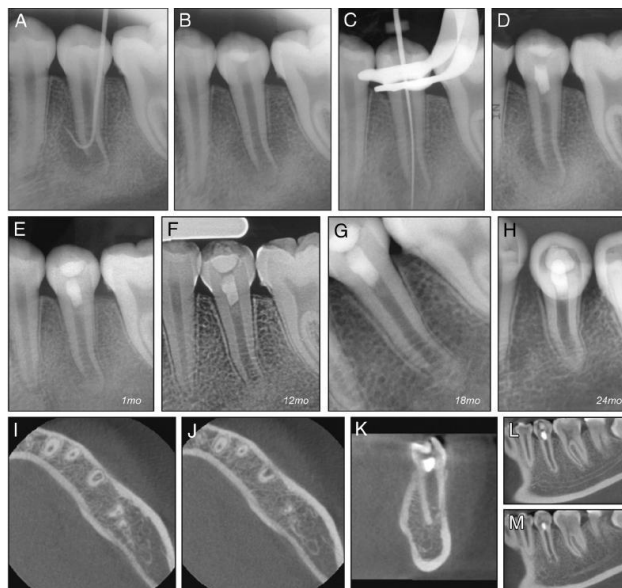


Figura 9. Evaluación mediante radiografía periapical y tomografía computarizada de haz cónico en procedimientos endodónticos regenerativos. La CBCT permite valorar tridimensionalmente la cicatrización periapical, el cierre apical, el grosor de las paredes radicales y los cambios en longitud radicular posteriores al tratamiento ⁹⁴.

4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Los resultados de los procedimientos endodónticos regenerativos pueden evaluarse mediante diferentes niveles de éxito. El criterio principal es la ausencia de signos y síntomas clínicos y la resolución de la patología periapical. Los criterios adicionales incluyen el incremento en el grosor de las paredes radicales y el aumento en la longitud de la raíz, mientras que una respuesta positiva a las pruebas de sensibilidad pulpar puede considerarse un resultado favorable adicional ⁹⁵.

Diversos estudios han demostrado que regeneración ósea de la periodontitis apical, el desarrollo continuo del ápice radicular y el incremento del grosor de la pared del conducto radicular pueden lograrse en dientes inmaduros con necrosis pulpar tratados mediante procedimientos regenerativos ⁷¹.

Entre las principales ventajas de la revascularización se encuentra su capacidad para favorecer la maduración radicular de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, permitiendo mejorar el pronóstico estructural del órgano dentario y disminuir la susceptibilidad a fracturas a largo plazo ²⁰. Asimismo, al emplear células sanguíneas propias del paciente, se reduce el riesgo de rechazo inmunológico y la transmisión de patógenos ⁹⁶. Otra ventaja es que los materiales y medicamentos utilizados en el protocolo son de fácil acceso y bajo costo, y pueden ser aplicados mediante técnicas clínicas relativamente sencillas, lo que facilita su implementación en la práctica odontológica ⁹⁶. Además, estos procedimientos pueden realizarse en un número reducido de citas clínicas una vez controlada la infección, en comparación con los métodos tradicionales de apexificación ¹³.

No obstante, los procedimientos endodónticos regenerativos presentan diversas limitaciones. Entre ellas se encuentra la falta de evidencia concluyente sobre los resultados a largo plazo, así como la posibilidad de calcificación del conducto radicular, lo que puede dificultar futuros tratamientos endodónticos. En caso de que la colocación de un poste y núcleo forme parte del plan de tratamiento restaurador definitivo, la revascularización puede no ser la alternativa más adecuada, debido a que el tejido formado en el interior del conducto podría verse comprometido durante la preparación para la colocación del poste ⁹⁷.

Adicionalmente, se han descrito complicaciones asociadas al uso de medicación intracanal, como la decoloración coronaria, el desarrollo radicular impredecible, la calcificación del conducto, la dificultad para lograr un sangrado adecuado, el desarrollo de resistencia bacteriana y posibles reacciones alérgicas derivadas del uso de antibióticos ⁹⁸. El uso prolongado de estos medicamentos también puede afectar las

propiedades mecánicas de la dentina, reduciendo su resistencia y aumentando el riesgo de fractura radicular ⁹⁹.

Asimismo, los dientes tratados mediante procedimientos regenerativos pueden presentar complicaciones como obliteración del conducto radicular, reabsorción radicular apical o ausencia de desarrollo radicular adicional ⁶⁹. Asimismo, los dientes con tratamiento de revascularización pueden ser susceptibles a reabsorción radicular apical y la inflamación. Para los dientes que se someterán a movimientos ortodónticos, es muy importante informar al especialista en que diente se realizó la revascularización o se opte por excluir al diente del plan de tratamiento ¹⁰⁰.

Finalmente, el seguimiento clínico y radiográfico en procedimientos endodónticos regenerativos debe realizarse a largo plazo (desde 6-36 meses hasta 5 años), recomendándose controles periódicos que pueden extenderse durante varios años para evaluar adecuadamente la cicatrización periapical y el desarrollo radicular ¹³.

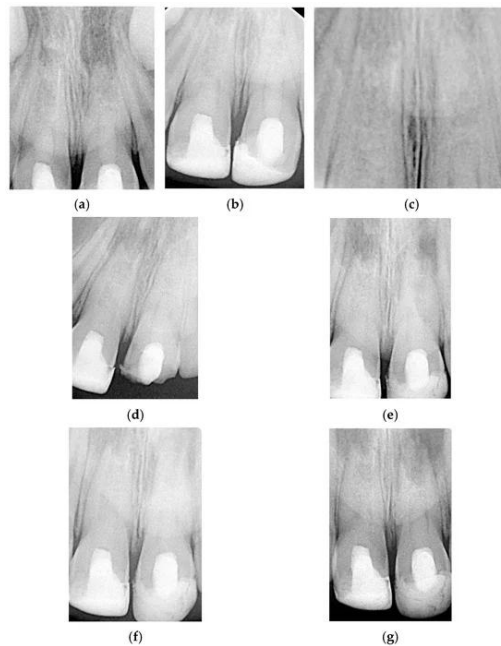


Figura 10. Seguimiento radiográfico a largo plazo posterior a tratamiento regenerativo en dientes permanentes inmaduros ²⁵.

La adherencia del paciente al programa de seguimiento constituye un factor determinante para el éxito de los procedimientos endodónticos regenerativos. Los controles clínicos y radiográficos periódicos permiten evaluar la resolución de la patología periapical, monitorear el desarrollo radicular y detectar oportunamente posibles complicaciones, como reabsorciones, obliteración del conducto o ausencia de maduración radicular. Por ello, gran parte del éxito del tratamiento depende no solo de la correcta ejecución del procedimiento, sino también del compromiso del paciente y sus tutores para acudir a las citas de control establecidas a largo plazo ¹⁷.

5. CRITERIOS DE ÉXITO CLÍNICO Y RADIOGRÁFICO

Los procedimientos endodónticos regenerativos requieren ser evaluados mediante criterios clínicos y radiográficos claramente definidos, que permitan establecer de manera objetiva su éxito o fracaso terapéutico. A diferencia de los tratamientos endodónticos convencionales, en los cuales el objetivo principal es la obturación del sistema de conductos radiculares, los procedimientos regenerativos buscan, además de la resolución de la infección, la continuación del desarrollo radicular y la recuperación funcional del diente.

La evaluación del éxito en los procedimientos endodónticos regenerativos no se limita únicamente a la resolución de los signos y síntomas clínicos, sino que integra una serie de parámetros clínicos y radiográficos que reflejan la recuperación funcional y estructural del diente. De acuerdo con la evidencia científica actual, el éxito se asocia principalmente con la desaparición de la sintomatología, la cicatrización de los tejidos periapicales y cambios positivos en el desarrollo radicular, tales como el aumento en la longitud de la raíz, el engrosamiento de las paredes dentinarias y el cierre apical. Además, en algunos casos, puede observarse la recuperación de la sensibilidad pulpar, lo cual representa un resultado favorable adicional, aunque no siempre es un criterio indispensable para considerar exitoso el tratamiento ¹⁰¹.

De acuerdo con la American Association of Endodontists, los objetivos del tratamiento se clasifican en tres niveles: primarios, secundarios y terciarios. El objetivo primario corresponde a la eliminación de signos y síntomas clínicos y la resolución de la patología periapical. El objetivo secundario incluye el aumento en la longitud radicular y el engrosamiento de las paredes dentinarias. El objetivo terciario considera la respuesta positiva a pruebas de vitalidad pulpar, lo cual sugiere la recuperación funcional del tejido dentro del conducto radicular ¹⁷. En términos clínicos La ausencia de dolor, inflamación, fístula y sensibilidad a la percusión o palpación, junto con la evidencia radiográfica de cicatrización de la lesión periapical, se consideran indicadores clínicos fundamentales de éxito Por el contrario, el fracaso del tratamiento se asocia con la persistencia o reaparición de signos y síntomas clínicos, tales como

dolor, inflamación o presencia de fístula, así como con la ausencia de cicatrización periapical o el aumento de la lesión radiolúcida. Asimismo, la falta de cambios en el desarrollo radicular o la progresión de alteraciones como la reabsorción o la obliteración del conducto pueden considerarse resultados desfavorables, que requieren reevaluación del caso y posible modificación del tratamiento ¹³.

Asimismo, la evaluación del éxito en estos procedimientos debe realizarse de manera longitudinal, mediante controles periódicos, ya que los cambios asociados a la cicatrización periapical y al desarrollo radicular pueden manifestarse en diferentes periodos de tiempo tras el tratamiento ¹³.

Finalmente, se ha reportado que el éxito en procedimientos regenerativos no siempre implica la regeneración de un complejo dentinopulpar verdadero, sino la formación de tejidos similares a cemento, hueso o ligamento periodontal. Por lo tanto, la evaluación del éxito debe centrarse en los resultados clínicos y radiográficos, más que en la naturaleza histológica del tejido formado ⁷⁸.

5.1. INDICADORES CLÍNICOS

Los objetivos del tratamiento en procedimientos endodónticos regenerativos se clasifican en primarios, secundarios y terciarios. El objetivo primario es la eliminación de los signos y síntomas clínicos y la evidencia de regeneración ósea periapical. El objetivo secundario incluye el aumento del grosor de las paredes radiculares y el incremento en la longitud de la raíz. El objetivo terciario es la respuesta positiva a las pruebas de vitalidad pulpar ¹⁷. En este sentido, los principales indicadores clínicos de éxito incluyen la ausencia de dolor, ausencia de inflamación, ausencia de fístula y la falta de sensibilidad a la percusión y palpación, lo que indica la resolución del proceso infeccioso y la adecuada respuesta de los tejidos periapicales.

No todos los casos son susceptibles de someterse a la revascularización, ya que se deben cumplir con algunos criterios, entre ellos se encuentran aquellos dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar y ápice abierto, pacientes que puedan

cumplir con el seguimiento clínico y que no presenten contraindicaciones médicas o alergias a los medicamentos utilizados. Asimismo, es fundamental que el diente sea restaurable y que se obtenga el consentimiento informado antes de iniciar el tratamiento ¹⁷.

DESINFECCIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES

La desinfección del sistema de conductos radiculares es un paso crítico en los procedimientos endodónticos regenerativos, especialmente en dientes inmaduros con necrosis pulpar, donde la eliminación efectiva de microorganismos es esencial para permitir la supervivencia de las células madre y favorecer la regeneración tisular. Sin embargo, debido a la complejidad anatómica y a la elevada carga bacteriana presente en estos casos, lograr un ambiente completamente libre de bacterias representa un desafío clínico, por lo que se recomienda el uso de medicación intracanal como parte fundamental del protocolo terapéutico ¹⁰².

El tratamiento de un diente inmaduro con pulpa necrótica infectada requiere una desinfección adecuada antes de contemplar la regeneración, incluso en presencia de un ápice abierto. Los procedimientos regenerativos dependen en gran medida de la desinfección química de los conductos ya que la instrumentación es mínima o nula, complementándose con medicación intracanal y la posterior inducción de sangrado desde los tejidos apicales hacia el conducto radicular ⁹².

MEDICACIÓN INTRACANAL

- HIDRÓXIDO DE CALCIO

Un estudio reveló que la ubicación del hidróxido de calcio influye en los procesos de regeneración. Cuando se aplica en la mitad coronal de la raíz, el porcentaje de incremento de espesor de las paredes dentinarias es mayor que cuando se coloca más allá de la mitad coronal ¹⁰³.

- PASTA TRIPLE ANTIBIÓTICA / HOSHINO: Formada por metronidazol, ciprofloxacino y minociclina

Ciprofloxacina: Es una quinolona de segunda generación, perteneciente al grupo de las fluoroquinolonas ¹⁰⁴. Aporta su efecto bactericida contra bacterias gram-negativas ¹⁰⁵.

Metronidazol: Familia de los nitroimidazoles es un antibiótico que tiene actividad in vitro contra una amplia variedad de parásitos protozoarios y anaerobios, posee actividad antibacteriana contra todos los cocos anaerobios y bacilos gram-negativos anaerobios, incluidas especies de bacteroides y bacilos ¹⁰⁴.

Minociclina: Las tetraciclinas son antibióticos bacteriostáticos de amplio espectro; actúan contra una amplia gama de bacterias grampositivas y gram-negativas anaerobias y aerobias. Las tetraciclinas son activas contra muchos microorganismos anaerobios facultativos; su actividad tiene particular importancia contra Actinomicetes ¹⁰⁴.

Se debe tomar en cuenta que la minociclina es una tetraciclina y puede causar pigmentación en los dientes, por lo cual se puede utilizar como medida preventiva ácido fosfórico al 35% por 20 segundos, colocar adhesivo y fotocurarlos por 30 segundos para proteger la superficie labial de la cámara pulpar del contacto con la pasta ¹⁰⁷. También se puede recurrir al blanqueamiento interno, o utilizar MTA blanco ¹⁰⁶.

5.2. INDICADORES RADIOGRÁFICOS

La disminución o desaparición de la lesión periapical es uno de los principales indicadores radiográficos de éxito en los procedimientos endodónticos regenerativos, ya que refleja la resolución del proceso inflamatorio y la reparación de los tejidos periapicales. Este hallazgo suele observarse progresivamente en los controles

radiográficos posteriores al tratamiento, evidenciando la recuperación del equilibrio biológico en la región apical ¹¹.

La formación de una barrera apical representa un signo favorable de reparación tisular, especialmente en dientes con ápice abierto. Aunque este proceso no siempre implica una regeneración pulpar verdadera, sí indica la capacidad del organismo para generar un cierre apical mediante la deposición de tejido mineralizado, contribuyendo a mejorar el pronóstico del diente tratado ¹².

El aumento de la longitud radicular constituye un indicador importante de éxito, ya que evidencia la continuidad del desarrollo radicular en dientes inmaduros. Este fenómeno es clínicamente relevante porque mejora la relación corona-raíz y contribuye a una mayor estabilidad estructural del diente a largo plazo ⁷⁰.

El engrosamiento de las paredes dentinarias es otro hallazgo radiográfico clave, ya que incrementa la resistencia del diente frente a fracturas. Este cambio se asocia con la deposición de tejido mineralizado en las paredes del conducto, lo que refuerza la estructura radicular y representa una ventaja significativa frente a tratamientos convencionales como la apexificación ⁴⁴.

Los cambios radiográficos asociados a los procedimientos endodónticos regenerativos no son inmediatos y requieren un seguimiento clínico y radiográfico prolongado. La resolución o disminución de la lesión periapical suele ser el primer signo radiográfico de éxito y puede comenzar a observarse entre los 3 y 6 meses posteriores al tratamiento. Esto se debe a que la reparación ósea periapical ocurre antes que los cambios estructurales radiculares. Por el contrario, el aumento de la longitud radicular, el engrosamiento de las paredes dentinarias y la reducción del diámetro apical son procesos biológicos más lentos que generalmente se evidencian entre los 12 y 24 meses de seguimiento ¹⁴.

La CBCT constituye una herramienta complementaria de gran utilidad en la evaluación inicial de estos casos, ya que permite determinar con mayor precisión el estadio de desarrollo radicular, el diámetro del foramen apical, el grosor de las paredes dentinarias y la extensión tridimensional de las lesiones periapicales ¹⁰⁸. Durante el

seguimiento, el CBCT puede emplearse para valorar la cicatrización ósea, cuantificar los cambios en longitud y grosor radicular, detectar reabsorciones radiculares y evaluar posibles obliteraciones del conducto, proporcionando información que no siempre es visible en las radiografías periapicales convencionales. La CBCT no se recomienda de manera rutinaria en todos los controles debido a la mayor dosis de radiación en comparación con la radiografía periapical; sin embargo, puede estar indicada cuando se requiere una evaluación tridimensional más precisa del desarrollo radicular o de la cicatrización periapical ¹⁰⁸.

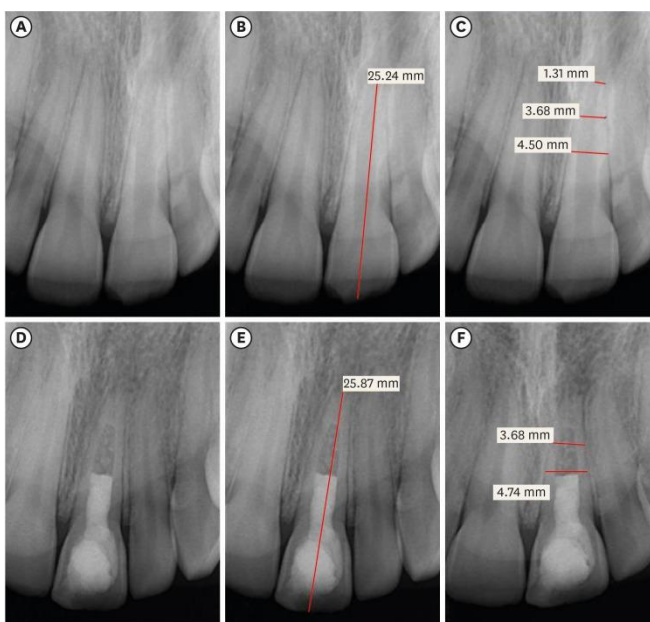


Figura 11. Evaluación radiográfica de indicadores asociados al éxito de procedimientos endodónticos regenerativos: longitud radicular, grosor de paredes dentinarias y diámetro apical ¹⁰⁹.

5.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ÉXITO

La edad del paciente es un factor determinante en los procedimientos endodónticos regenerativos, ya que los pacientes jóvenes presentan una mayor capacidad de reparación tisular y un mayor potencial regenerativo debido a la actividad biológica de sus células madre. Esto favorece la respuesta al tratamiento y aumenta la probabilidad de obtener resultados clínicos y radiográficos exitosos ⁴⁰.

El grado de desarrollo radicular influye directamente en el pronóstico del tratamiento, siendo más favorable en dientes permanentes inmaduros con ápices abiertos. Un mayor diámetro apical facilita la migración de células madre hacia el conducto radicular y permite la revascularización, lo que favorece la regeneración tisular y la continuación del desarrollo radicular ¹⁰².

El tipo de tratamiento seleccionado también condiciona los resultados clínicos. Los procedimientos regenerativos, como la revascularización, permiten la continuación del desarrollo radicular y el engrosamiento de las paredes dentinarias, a diferencia de la apexificación, que únicamente induce el cierre apical sin favorecer el desarrollo estructural completo de la raíz ⁶³.

El control de la infección es un requisito fundamental para el éxito del tratamiento regenerativo, ya que la persistencia de microorganismos en el sistema de conductos radiculares puede comprometer la supervivencia de las células madre y limitar la regeneración tisular. La desinfección adecuada mediante irrigación y medicación intracanal es clave para crear un microambiente favorable ¹⁷. La técnica utilizada durante el procedimiento influye directamente en los resultados obtenidos. Factores como la irrigación controlada, la correcta colocación de la medicación intracanal, la inducción adecuada del sangrado y el sellado coronal hermético son determinantes para el éxito del tratamiento, ya que permiten la formación de un entorno biológico propicio para la regeneración ¹³.

La correcta selección del caso es fundamental para el éxito de los procedimientos regenerativos, considerando criterios como la presencia de necrosis pulpar en dientes permanentes inmaduros, la posibilidad de restauración del órgano dental y la ausencia de contraindicaciones sistémicas o estructurales ¹⁷.

El tamaño del foramen apical desempeña un papel importante en la regeneración, ya que diámetros mayores favorecen la revascularización al permitir el ingreso de células madre, vasos sanguíneos y factores de crecimiento hacia el interior del conducto radicular ¹⁰².

El tipo y la concentración de los irrigantes utilizados durante el tratamiento influyen en la supervivencia celular, ya que concentraciones elevadas de hipoclorito de sodio pueden resultar citotóxicas para las células madre, mientras que el uso de EDTA favorece la liberación de factores de crecimiento presentes en la dentina ⁸⁵.

La medicación intracanal también influye en el éxito del tratamiento, ya que algunos agentes, como la pasta triple antibiótica, pueden tener efectos adversos sobre la viabilidad de las células madre, mientras que el hidróxido de calcio ha mostrado ser una alternativa menos citotóxica en determinados casos ⁹⁸.

La estabilidad del coágulo sanguíneo es un elemento clave en los procedimientos regenerativos, ya que actúa como un andamiaje natural que permite la migración, proliferación y diferenciación celular dentro del conducto radicular ⁴⁰.

La calidad del sellado coronal es un factor crítico en los procedimientos regenerativos, ya que evita la reinfección del sistema de conductos radiculares y mantiene un ambiente estable que favorece la regeneración tisular. La microfiltración puede comprometer significativamente el pronóstico del tratamiento ⁹⁰.

El cumplimiento del seguimiento clínico y radiográfico por parte del paciente es fundamental para evaluar la evolución del tratamiento y detectar posibles complicaciones de manera oportuna. La ausencia de controles puede limitar la identificación temprana de fallas o resultados desfavorables ¹³.

5.4. CRITERIOS DE ÉXITO REPORTADOS

La European Society of Endodontology propuso un protocolo clínico para el tratamiento. Los criterios de inclusión son aquellos dientes permanentes jóvenes con diagnóstico de necrosis pulpar que tengan un desarrollo radicular incompleto o que presenten lesiones a nivel periradicular ¹⁰⁰.

Por otro lado, los criterios de exclusión serán aquellas piezas dentarias avulsionadas o reimplantadas; que no puedan ser aislados con dique de hule; dientes con pérdida

de extensión coronal que requieran colocación de un poste y ocupen el espacio de la formación del coágulo sanguíneo; pacientes médicamente comprometidos (ASA III o superior) ¹⁰⁰.

Está protocolo establece que el tratamiento debe realizarse en dos citas. La primera con el objetivo de conseguir el mayor porcentaje de desinfección del sistema de conductos. En la segunda cita se realizará el tratamiento propiamente dicho. ¹⁰⁰.

Los criterios de éxito en los procedimientos endodónticos regenerativos deben evaluarse de manera integral, considerando parámetros clínicos, radiográficos y biológicos. La evidencia reciente señala que el éxito clínico se asocia principalmente con la ausencia de signos y síntomas, la supervivencia del diente y la resolución de la infección, lo que refleja la capacidad del tratamiento para restablecer un entorno biológico favorable para la regeneración tisular ¹⁰⁷.

Desde el punto de vista radiográfico, uno de los principales indicadores de éxito es la cicatrización de la lesión periapical, la cual puede observarse como una reducción progresiva o desaparición completa de la radiolucidez apical. Estudios recientes han reportado tasas de regeneración ósea periapical superiores al 90% en tratamientos regenerativos, lo que respalda su eficacia como alternativa terapéutica en dientes inmaduros con necrosis pulpar ¹⁰⁷.

Asimismo, el desarrollo radicular continuo constituye un criterio fundamental de éxito, manifestado por el aumento en la longitud de la raíz, el engrosamiento de las paredes dentinarias y, en algunos casos, la formación de una barrera apical. La evidencia más reciente indica que estos cambios estructurales no solo mejoran el pronóstico del diente, sino que también incrementan su resistencia a la fractura y su funcionalidad a largo plazo ¹¹⁰.

Desde una perspectiva biológica, los procedimientos regenerativos buscan no solo la reparación, sino la restauración funcional del complejo dentinopulpar. En este sentido, se ha observado que algunos casos presentan recuperación parcial de la sensibilidad pulpar, lo que sugiere la formación de tejido funcional dentro del conducto radicular, aunque este hallazgo no es indispensable para considerar el tratamiento exitoso ¹¹¹.

Sin embargo, es importante destacar que los resultados de los procedimientos regenerativos pueden ser variables debido a la heterogeneidad de los protocolos clínicos, las diferencias en los biomateriales utilizados y las condiciones biológicas de cada paciente. La literatura reciente enfatiza la necesidad de estandarizar los protocolos y realizar estudios clínicos a largo plazo para establecer criterios de éxito más uniformes y reproducibles ¹¹².

En conjunto, los criterios de éxito en la terapia endodóntica regenerativa deben interpretarse de manera integral, considerando no solo la resolución clínica de los signos y síntomas, sino también la evidencia radiográfica de cicatrización periapical y el desarrollo radicular continuo, así como la posible recuperación funcional del órgano dental. De esta forma, el éxito no se define por un solo parámetro aislado, sino por la combinación de hallazgos que reflejan la restauración del equilibrio biológico y la capacidad del diente para mantenerse en función a largo plazo.

6. EVIDENCIA COMPARATIVA ACTUAL

La evidencia clínica acumulada en los últimos años ha demostrado que los procedimientos endodónticos regenerativos presentan resultados favorables tanto a nivel clínico como radiográfico. Diversas revisiones sistemáticas han reportado que estos procedimientos no solo logran la eliminación del dolor y la resolución de la periodontitis apical, sino que además permiten la continuación del desarrollo radicular, con incremento en el grosor y la resistencia de las paredes dentinarias, lo que mejora significativamente el pronóstico de dientes previamente debilitados y susceptibles a fractura ¹¹.

Las revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en los últimos años coinciden en que los procedimientos endodónticos regenerativos presentan ventajas radiográficas sobre la apexificación convencional, particularmente en relación con el aumento de la longitud radicular, el engrosamiento de las paredes dentinarias y la reducción del diámetro apical. Sin embargo, ambas alternativas muestran tasas elevadas de supervivencia dental y resolución de la periodontitis apical, por lo que la superioridad de una técnica sobre otra depende del criterio de evaluación utilizado ⁴⁷.

Estudios clínicos con seguimiento a mediano y largo plazo han reportado altas tasas de supervivencia en dientes tratados con procedimientos regenerativos. En un estudio con seguimiento promedio de tres años, se observó una tasa de supervivencia del 100%, con un 70% de éxito clínico y solo un 5% de fracaso. Asimismo, se evidenció la reparación completa de las lesiones periapicales y un aumento significativo en el área radicular, lo que respalda la efectividad de estos procedimientos en la regeneración de tejidos y la estabilización estructural del diente ^{70, 113}.

Los estudios de cohorte con seguimientos prolongados también han mostrado resultados favorables para los procedimientos regenerativos. Se ha reportado que la resolución de la lesión periapical suele observarse durante los primeros meses posteriores al tratamiento, mientras que los cambios relacionados con el desarrollo

radicular requieren periodos de seguimiento más largos para poder ser identificados radiográficamente.

En la práctica clínica, los resultados reportados por especialistas indican que los cambios radiográficos, como el aumento en la longitud y el área radicular, son progresivos y dependientes del tiempo de seguimiento. Encuestas realizadas entre miembros de la Asociación Americana de Endodoncistas han mostrado que más de la mitad de los casos tratados con procedimientos regenerativos son considerados exitosos, destacando principalmente la resolución de lesiones periapicales y la mejoría estructural del órgano dental ⁷⁸.

Múltiples estudios retrospectivos comparativos han demostrado que los dientes permanentes inmaduros tratados mediante procedimientos regenerativos presentan mayores incrementos en la longitud radicular y en el grosor de las paredes dentinarias en comparación con aquellos tratados mediante apexificación. No obstante, ambos tratamientos mostraron resultados favorables en términos de supervivencia dental y resolución de la infección ⁷⁸.

Los hallazgos reportados por diferentes revisiones sistemáticas coinciden en que la principal ventaja de la revascularización radica en su capacidad para favorecer la continuación del desarrollo radicular. Aunque los resultados clínicos relacionados con la eliminación de signos y síntomas suelen ser comparables a los obtenidos mediante apexificación, los procedimientos regenerativos muestran una tendencia favorable respecto al fortalecimiento estructural del órgano dentario, debido al aumento del grosor de las paredes dentinarias y al desarrollo radicular continuo. No obstante, los autores destacan que la heterogeneidad de los protocolos clínicos continúa siendo una limitación importante para comparar directamente los resultados entre estudios ¹¹³.

De acuerdo con la Asociación Americana de Endodoncia (AAE), los resultados esperados y deseados mediante el tratamiento de revascularización son la eliminación de signos y síntomas clínicos, el engrosamiento de las paredes del conducto radicular, el desarrollo de la longitud de la raíz y una respuesta positiva que muestre el retorno de la vitalidad pulpar ¹¹⁴.

Las recomendaciones de la American Association of Endodontists (AAE) y de la European Society of Endodontology (ESE) consideran a los procedimientos endodónticos regenerativos como una alternativa terapéutica indicada para dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. Ambas organizaciones coinciden en que el objetivo principal del tratamiento es la resolución de la sintomatología y de la periodontitis apical, mientras que la continuación del desarrollo radicular, el aumento del grosor de las paredes dentinarias y una posible respuesta positiva a las pruebas de sensibilidad pulpar constituyen resultados adicionales deseables. Asimismo, ambas asociaciones enfatizan la importancia de realizar seguimientos clínicos y radiográficos prolongados para evaluar adecuadamente la evolución del tratamiento ¹⁷.

En contraste, los tratamientos de apexificación, aunque efectivos para inducir el cierre apical y eliminar la infección, no permiten el aumento en la longitud radicular ni el engrosamiento de las paredes dentinarias, lo que deja al diente con una estructura más débil y mayor riesgo de fractura a largo plazo. Por esta razón, los procedimientos regenerativos han ganado relevancia como una alternativa terapéutica que no solo resuelve la patología, sino que también mejora las condiciones estructurales del diente ⁴⁰.

A pesar de los resultados favorables reportados, la comparación entre apexificación y procedimientos regenerativos continúa siendo compleja debido a la heterogeneidad de los protocolos clínicos, los biomateriales utilizados, los tiempos de seguimiento y los criterios empleados para definir el éxito terapéutico. Estas diferencias metodológicas dificultan la comparación directa de los resultados publicados y explican parte de la variabilidad observada entre los estudios ².

En conjunto, la evidencia científica actual sugiere que tanto la apexificación como la revascularización son alternativas eficaces para el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. La apexificación continúa mostrando resultados predecibles en la resolución de la infección y formación de una barrera apical, mientras que la revascularización presenta ventajas relacionadas con el desarrollo radicular continuo y el fortalecimiento estructural del órgano dentario. No obstante, la

heterogeneidad de los protocolos clínicos y de los criterios utilizados para evaluar el éxito terapéutico continúa limitando la comparación directa entre ambas técnicas, por lo que la selección del tratamiento debe individualizarse de acuerdo con las características clínicas de cada caso ².

MARCO METODOLÓGICO

TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

La presente investigación corresponde a un estudio de tipo documental con enfoque descriptivo y comparativo, basado en la revisión y el análisis crítico de la literatura científica relacionada con la revascularización y la apexificación en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar.

Se considera documental porque la información se obtiene a partir de fuentes bibliográficas previamente publicadas; descriptivo porque analiza las características clínicas y radiográficas reportadas para cada tratamiento; y comparativo porque contrasta los resultados de la revascularización frente a la apexificación en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar.

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Se realizó una revisión documental comparativa de la literatura valorando también la información disponible mediante la consulta de bases de datos científicas reconocidas, incluyendo SciELO, PubMed, Scopus, Web of Science, así como revistas especializadas en endodoncia.

También se consideró la búsqueda manual de referencias relevantes citadas en los artículos seleccionados, especialmente cuando correspondían a guías clínicas, revisiones sistemáticas o estudios comparativos directamente relacionados con el tema de investigación.

La búsqueda bibliográfica se realizó durante el periodo comprendido entre enero de 2011 y abril de 2026, con el propósito de incluir literatura científica publicada en los últimos quince años. Asimismo, se consideraron fuentes clásicas y guías clínicas

previas a este periodo cuando aportaban antecedentes históricos, definiciones, fundamentos biológicos o protocolos clínicos relevantes para el tema de estudio ¹¹⁵.

La estrategia de búsqueda se estructuró mediante términos controlados MeSH y palabras clave en inglés y español. Los principales términos utilizados fueron: “revascularization”, “regenerative endodontics”, “revitalization”, “apexification”, “immature permanent teeth”, “open apex”, “pulp necrosis”, “necrotic pulp”, “clinical success”, “radiographic outcomes”, “root development”, “periapical healing”, “revascularización”, “endodoncia regenerativa”, “apexificación”, “dientes permanentes inmaduros”, “ápice abierto” y “necrosis pulpar”. Los términos fueron combinados mediante operadores booleanos AND y OR, con el objetivo de delimitar la búsqueda hacia estudios relacionados directamente con el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar.

SELECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se organizó la documentación encontrada con el fin de distinguir las fuentes principales de las secundarias y posteriormente se realizó la unificación y análisis crítico de la información recopilada.

El proceso de selección de los estudios se organizó en cuatro fases: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión final. En la fase de identificación se recopilaron los registros obtenidos en las bases de datos consultadas. Posteriormente, se eliminaron los artículos duplicados y se realizó la revisión de títulos y resúmenes para descartar aquellos que no se relacionaban directamente con el objetivo de la investigación. En la fase de elegibilidad se analizaron los textos completos de los estudios potencialmente relevantes, verificando que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Finalmente, se seleccionaron los estudios que aportaban información clínica, radiográfica o comparativa sobre apexificación y revascularización en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, considerando variables como éxito clínico, resolución de lesiones periapicales,

formación de barrera apical, aumento de longitud radicular, engrosamiento de paredes dentinarias, supervivencia dental y complicaciones asociadas al tratamiento ¹¹⁵.

Para ordenar el proceso de selección se tomaron como referencia las fases generales propuestas por PRISMA: identificación de registros, cribado por título y resumen, revisión del texto completo y selección final de los estudios incluidos. Aunque el presente trabajo corresponde a una revisión documental comparativa y no a una revisión sistemática estricta, el uso de este esquema permitió organizar la búsqueda de manera más clara y reproducible ¹¹⁵.

La búsqueda documental permitió integrar un total de 145 fuentes bibliográficas finales, conformadas por artículos científicos, revisiones sistemáticas, metaanálisis, estudios clínicos, reportes de caso, guías clínicas, consensos, libros especializados y fuentes clásicas relevantes para el desarrollo del tema. Del total de referencias empleadas, 29 correspondieron a publicaciones comprendidas entre enero de 2016 y abril de 2026, mientras que 115 correspondieron a fuentes previas utilizadas por su valor histórico, conceptual o metodológico en endodoncia. Una referencia no presentó año claramente identificable en los datos bibliográficos disponibles.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Se incluyeron estudios publicados en los últimos 10 años, en idioma inglés y español, tales como ensayos clínicos, estudios observacionales, estudios retrospectivos comparativos, estudios de cohorte, series de casos, revisiones sistemáticas, metaanálisis y guías clínicas que reportaran resultados clínicos y/o radiográficos, tales como ausencia de signos y síntomas, resolución de lesiones periapicales, formación de barrera apical, aumento de longitud radicular, engrosamiento de paredes dentinarias, cierre apical, supervivencia dental o complicaciones asociadas al tratamiento, con un seguimiento mínimo de 12 meses.

Para el desarrollo del marco teórico también se consideraron fuentes clásicas y guías clínicas relevantes, aun cuando su fecha de publicación fuera anterior al periodo

establecido, debido a que aportan definiciones, bases biológicas, antecedentes históricos o protocolos ampliamente aceptados en endodoncia.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Se excluyeron aquellos estudios realizados en dientes permanentes maduros, modelos de animales, artículos duplicados, publicaciones sin resultados clínicos o radiográficos claros, así como aquellos con baja calidad metodológica.

También se excluyeron publicaciones que no permitieran identificar el tipo de tratamiento utilizado, estudios centrados en otros procedimientos endodónticos no relacionados con apexificación o revascularización, y artículos cuya información no aportara datos útiles para responder al objetivo general de esta investigación.

VARIABLES DE ESTUDIO

Variable dependiente: éxito clínico y radiográfico.

Se define como la ausencia de signos y síntomas clínicos (dolor, inflamación, fístula) y la presencia de hallazgos favorables en la evaluación radiográfica, tales como la resolución de lesiones periapicales, formación de barrera apical, aumento en la longitud radicular y engrosamiento de las paredes dentinarias.

De manera operacional, el éxito clínico y radiográfico será evaluado con base en los criterios reportados en los estudios incluidos en la revisión. Para el análisis global, esta variable se clasificó como categórica nominal (éxito/fracaso); sin embargo, los cambios cuantitativos como longitud radicular, grosor de paredes dentinarias o reducción de lesión periapical pueden reportarse en escala de razón cuando los estudios los expresan mediante medidas numéricas.

Variable independiente: tipo de tratamiento

La revascularización es el procedimiento orientado a la desinfección del conducto radicular y a la regeneración del tejido vital que permita la continuación del desarrollo radicular. Se consideraron protocolos que incluyan irrigación, medicación intracanal y formación del coágulo.

La apexificación es el tratamiento dirigido a inducir la formación de una barrera apical mediante materiales biocompatibles como hidróxido de calcio, MTA o biocerámicos.

Ambas variables se clasifican como categóricas nominales.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida se analizó de forma descriptiva y comparativa. Primero se identificaron los datos principales de cada estudio, incluyendo autor, año de publicación, tipo de estudio, tratamiento evaluado, tiempo de seguimiento y resultados clínicos o radiográficos reportados. Posteriormente se compararon los hallazgos entre revascularización y apexificación, tomando en cuenta la resolución de signos y síntomas, cicatrización periapical, desarrollo radicular, supervivencia dental y complicaciones asociadas.

DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

La investigación se enfoca exclusivamente en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, comparando los tratamientos de revascularización y apexificación.

Se analizaron únicamente resultados clínicos y radiográficos reportados en la literatura, sin restricción geográfica.

No se incluyen otros tipos de tratamientos endodónticos. Asimismo, el estudio no se limita a una región geográfica específica y se restringe a publicaciones científicas que cumplan con los criterios metodológicos establecidos.

La delimitación temporal principal correspondió a publicaciones de los últimos 10 años; sin embargo, se conservaron fuentes clásicas cuando fueron necesarias para explicar conceptos, antecedentes, definiciones o protocolos que continúan siendo utilizados como referencia en endodoncia.

CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Al tratarse de una investigación documental, no se realizó intervención directa en pacientes ni recolección de muestras biológicas. La información analizada provino de literatura científica publicada, por lo que el estudio no implicó riesgos físicos, biológicos o psicológicos para sujetos humanos. Aun así, se mantuvo el respeto a la autoría de las fuentes consultadas mediante la citación correspondiente en formato Vancouver.

IMPLICACIONES BIOÉTICAS

El presente estudio, al tratarse de una revisión de la literatura, no implica la participación directa de pacientes ni la manipulación de muestras biológicas, por lo que no representa riesgos para la salud o integridad de las personas. Sin embargo, se respetaron los principios éticos en la investigación científica, garantizando el adecuado manejo y citación de la información consultada.

Debido a que esta investigación se desarrolló mediante el análisis de literatura científica previamente publicada, no se realizaron intervenciones clínicas, toma de muestras, procedimientos diagnósticos ni modificaciones intencionadas sobre variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de seres humanos. Por ello, el estudio puede considerarse como una investigación sin riesgo, al emplear únicamente técnicas de revisión documental y análisis de información secundaria.

De acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, la investigación sin riesgo comprende estudios que utilizan técnicas y métodos de investigación documental, retrospectivos o aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada en los individuos participantes. En este sentido, el presente trabajo no requirió consentimiento informado individual, ya que no incluyó pacientes, expedientes clínicos identificables ni datos personales sensibles ¹¹⁶.

Aunque la Declaración de Helsinki está dirigida principalmente a investigaciones médicas con participación de seres humanos, sus principios resultan aplicables como marco ético general para la elaboración de investigaciones en ciencias de la salud. Por ello, este estudio consideró los principios de respeto, integridad científica, responsabilidad en el manejo de la información, transparencia metodológica y protección de la dignidad humana, aun cuando no se haya realizado intervención directa sobre pacientes ¹¹⁷.

Asimismo, se procuró mantener la honestidad académica mediante la adecuada selección, interpretación y citación de las fuentes consultadas. Se evitó alterar el

sentido original de los estudios incluidos, procurando diferenciar entre los hallazgos clínicos reportados por los autores y la interpretación realizada dentro del presente trabajo. Este aspecto resulta relevante debido a que las revisiones documentales dependen directamente de la calidad, pertinencia y correcta interpretación de la evidencia científica disponible.

Por lo anterior, no se requirió autorización de un comité de ética para su realización; sin embargo, se mantiene el compromiso de cumplir con los principios de honestidad, integridad científica y respeto a los derechos de autor.

RESULTADOS

TÍTULO	AUTOR	REVISTA/AÑO	MUESTRA	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
Comparative effectiveness of regenerative endodontic treatment versus apexification for necrotic immature permanent teeth with or without apical periodontitis: an umbrella review	Tewari N, Devi KP, Sampath S, et al. ² .	Dental Traumatology, 2025	Revisiones sistemáticas/metaanálisis sobre RET y apexificación	Comparar éxito clínico, radiográfico y global de RET frente a apexificación y valorar fuerza de la evidencia.	RET y apexificación mostraron éxito comparable mayor a 85% en varios dominios; RET mantiene ventaja potencial en maduración radicular, pero la evidencia no permite afirmar superioridad absoluta.
Evaluation of outcomes in immature teeth after revitalization or apexification procedures: a systematic review and meta-analysis	Stefanidou M, Kostenkova A, Siudikienė J, Lodienė G ¹¹⁸ .	Cureus, 2024	6 ECA; 260 dientes permanentes inmaduros no vitales	Evaluar resultados clínicos y radiográficos de revitalización y apexificación.	Ambos procedimientos son opciones creíbles; la revitalización puede favorecer cambios de maduración radicular, aunque los protocolos y seguimientos son heterogéneos.
Treatment outcomes of regenerative endodontic therapy in immature permanent teeth with pulpal necrosis: a systematic review and network meta-analysis	Sabeti M, Ghobrial D, Azarpazhooh A, et al. ¹¹⁹ .	International Endodontic Journal, 2024	Estudios clínicos con diferentes andamios	Comparar el efecto del andamio seleccionado en RET de dientes inmaduros necróticos.	PRP y PRF mostraron buenos resultados a corto plazo; el coágulo sanguíneo continúa siendo un andamio aceptado, con necesidad de evidencia a largo plazo.
Treatment outcome of regenerative endodontic procedures for immature necrotic and mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis based on randomized controlled trials	Li J, Zheng L, Daraqel B, Liu J, Hu Y ¹²⁰ .	Oral Health & Preventive Dentistry, 2023	27 ensayos clínicos aleatorizados	Analizar si el desarrollo apical influye en el éxito de REP en dientes inmaduros y maduros necróticos.	REP presentó tasas altas de éxito y baja sintomatología; en dientes inmaduros se observó mayor riesgo de decoloración y respuesta de sensibilidad variable.
Clinical outcome and comparison of regenerative and apexification intervention in young immature necrotic teeth: a systematic review and meta-analysis	Panda P, Mishra L, Govind S, Panda S, Łapińska B ⁵ .	Journal of Clinical Medicine, 2022	32 artículos: 18 ECA y 14 no aleatorizados; >1,300 participantes/dientes distribuidos en REP, apexificación y comparativos	Evaluar y comparar resultados clínicos de REP y apexificación en dientes inmaduros necróticos.	Supervivencia y éxito fueron similares; REP mostró ventajas en longitud radicular y disminución del foramen apical, aunque con heterogeneidad.

TÍTULO	AUTOR	REVISTA/AÑO	MUESTRA	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
Success and complication rates of revascularization procedures for immature necrotic teeth: a systematic review	Singh N, et al ¹⁶ .	Cureus, 2023	Estudios clínicos y reportes de revascularización	Sintetizar tasas de éxito y complicaciones de la revascularización.	La revascularización muestra tasas favorables de éxito, pero pueden presentarse decoloración, obliteración y resultados variables.
Pulp revascularization or apexification for the treatment of immature necrotic permanent teeth: systematic review and meta-analysis	Nicoloso GF, Goldenfum GM, Pizzol T, et al.	Journal of Clinical Pediatric Dentistry, 2019	Estudios comparativos y no comparativos	Comparar revascularización y apexificación en dientes inmaduros necróticos.	Ambas técnicas pueden resolver infección; la revascularización se asoció con mejor maduración radicular, pero no reemplaza por completo a la apexificación.
Regenerative endodontic therapy in the management of nonvital immature permanent teeth: a systematic review - outcome evaluation and meta-analysis	Tong HJ, Rajan S, Bhujel N, et al.	Journal of Endodontics, 2017	Estudios clínicos de dientes inmaduros no vitales	Evaluar resultados de terapia endodóntica regenerativa en dientes inmaduros no vitales.	La terapia regenerativa mostró resultados clínicos y radiográficos favorables; la calidad de la evidencia y la estandarización fueron limitadas.
A systematic review: limited evidence suggests benefits of regenerative endodontic procedures in immature permanent teeth	Rossi-Fedele G, et al ¹¹³ .	Brazilian Dental Journal, 2019	Estudios clínicos disponibles	Valorar la evidencia de beneficios de REP en dientes inmaduros.	La evidencia sugiere beneficios, pero se requieren estudios controlados y estandarizados para conclusiones firmes.
An evidence-based review of the efficacy of treatment approaches for immature permanent teeth with pulp necrosis	Kahler B, Rossi-Fedele G, Chugal N, Lin LM ¹¹³ .	Journal of Endodontics, 2017	Revisión basada en evidencia	Analizar la eficacia de diferentes tratamientos para dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar.	Apexificación y REP son útiles; REP ofrece ventajas biológicas potenciales, aunque la predicción de resultados depende del caso.
Expert consensus on regenerative endodontic procedures	Wei X, Yang M, Yue L, Huang D, Zhao Y, Lin LM, et al ¹²¹ .	International Journal of Oral Science, 2022	Consenso de expertos	Establecer bases biológicas, protocolos y estado actual de REP.	REP es un tratamiento biológico para dientes permanentes inmaduros con necrosis; requiere caso bien seleccionado, desinfección y seguimiento.

TÍTULO	AUTOR	REVISTA/AÑO	MUESTRA	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
AAE clinical considerations for a regenerative procedure	American Association of Endodontists ¹⁷ .	AAE, 2022	Guía clínica	Orientar selección del caso, protocolo clínico y criterios de éxito de REP.	El éxito se valora por objetivo primario: eliminación de síntomas y cicatrización ósea; secundario: aumento de longitud/grosor; terciario: respuesta positiva a vitalidad.
European Society of Endodontology position statement: revitalization procedures	Galler KM, Krastl G, Simon S, Van Gorp G, Meschi N, Vahedi B, et al ¹³ .	International Endodontic Journal, 2016	Posicionamiento clínico ESE	Proporcionar protocolo y criterios para revitalización en dientes inmaduros necróticos.	La revitalización debe considerarse alternativa a la apexificación en casos seleccionados, con controles prolongados y consentimiento informado.
Regenerative endodontics versus apexification in immature permanent teeth with apical periodontitis: a prospective randomized controlled study	Lin J, Zeng Q, Wei X, Zhao W, Cui M, et al ¹²² .	Journal of Endodontics, 2017	118 pacientes/dientes; edad 6-18 años	Comparar RET y apexificación en dientes inmaduros con necrosis y periodontitis apical.	RET mostró mayor desarrollo radicular; ambos grupos resolvieron sintomatología y lesión periapical en proporciones altas.
Regeneration of human dental pulp by autologous stem cells in deciduous teeth/immature permanent teeth	Xuan K, Li B, Guo H, et al.	Science Translational Medicine, 2018	30 dientes inmaduros; hDPSC vs tratamiento convencional	Evaluar terapia celular autóloga en dientes permanentes inmaduros necróticos.	La terapia con células pulpares autólogas favoreció cierre apical, formación radicular y respuestas sensoriales; requiere infraestructura especializada.
Mahidol study 1: comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods	Jeeruphan T, Jantararat J, Yanpiset K, Suwannapan L, et al ⁶³ .	Journal of Endodontics, 2012	61 dientes: RET 20, MTA 19, Ca (OH)2 22	Comparar supervivencia y cambios radiográficos entre RET, MTA y Ca (OH)2.	RET presentó mayor supervivencia y aumento de longitud/grosor radicular; MTA y Ca (OH)2 fueron útiles para control de infección y barrera apical.
Radiographic and clinical outcomes of immature permanent teeth treated by revascularization or apexification: a pilot retrospective cohort study	Alobaid AS, Cortes LM, Lo J, Nguyen TT, et al ¹²³ .	Journal of Endodontics, 2014	31 dientes: RET 19, apexificación 12	Comparar resultados clínicos y radiográficos de RET y apexificación.	No siempre hubo diferencias clínicas significativas; RET mostró tendencia a mayor desarrollo radicular.

TÍTULO	AUTOR	REVISTA/AÑO	MUESTRA	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
Treatment outcomes of pulp revascularization in traumatized immature teeth: retrospective comparison with MTA apexification	Pereira AC, et al.	Dental Traumatology, 2021	44 dientes: RET 22, MTA 22	Comparar resultados de revascularización y apexificación en dientes traumatizados inmaduros.	RET favoreció cambios radiculares; MTA mantuvo resultados favorables de curación y supervivencia.
Outcomes of traumatized immature teeth treated with apexification or regenerative endodontic procedure: a retrospective study	Casey J, et al.	Dental Traumatology, 2022	211 dientes: RET 93, apexificación 118	Comparar éxito clínico y desarrollo radicular en dientes traumatizados inmaduros.	Ambas terapias preservaron dientes; REP se asoció con más maduración radicular, pero los resultados dependen de trauma y seguimiento.
Clinical and radiographic outcomes of regenerative endodontic procedures versus MTA apexification	Caleza-Jiménez C, et al.	2022	18 dientes: RET 9, MTA 9	Comparar RET y apexificación con MTA en dientes inmaduros con necrosis.	RET mostró mejores cambios de longitud/grosor; MTA fue útil para control apical.
Treatment outcomes of apexification or revascularization in immature permanent teeth	Silujjai J, Linsuwanont P	Journal of Endodontics, 2017	43 dientes: RET 17, MTA 26	Comparar tratamientos en dientes inmaduros necróticos.	Ambas técnicas fueron viables; RET puede mejorar maduración radicular, con resultados clínicos variables.
Treatment outcomes of immature permanent necrotic evaginated teeth: regenerative endodontic procedures versus apexification	Chen YP, et al.	2016	38 dientes: RET 17, apexificación 21	Comparar tratamientos en dientes con dens evaginatus y necrosis.	Ambas técnicas mostraron evolución favorable; RET se asoció con mayor continuidad del desarrollo radicular.
Regenerative endodontic treatment for necrotic immature permanent teeth	Chueh LH, Huang GTJ ¹²² .	Journal of Endodontics, 2009	23 dientes permanentes inmaduros necróticos	Evaluar tratamiento regenerativo con irrigación conservadora y Ca (OH) ₂ .	Los dientes mostraron cicatrización y desarrollo radicular continuo; el protocolo conservador puede favorecer reparación.
A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures	Bose R, Nummikoski P, Hargreaves K ¹²⁵ .	Journal of Endodontics, 2009	54 casos/dientes inmaduros	Valorar cambios radiográficos después de REP.	Los procedimientos regenerativos se asociaron con aumento de longitud radicular, engrosamiento dentinario y cierre apical en muchos casos.

TÍTULO	AUTOR	REVISTA/AÑO	MUESTRA	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
Revascularization outcomes: a prospective analysis of 16 consecutive cases	Kahler B, Mistry S, Moule A, Ringsmuth AK, et al ¹²⁶ .	Journal of Endodontics, 2014	16 dientes	Analizar resultados prospectivos de revascularización.	Se observó resolución de lesiones periapicales, cierre apical y cambios radiculares en diferentes grados.
Clinical and radiographic outcomes of traumatized immature permanent necrotic teeth after revascularization/revitalization	Saoud TMA, Zaazou A, Nabil A, et al ⁷⁶ .	Journal of Endodontics, 2014	20 dientes	Evaluar revascularización en dientes traumatizados inmaduros.	La mayoría presentó curación periapical; el desarrollo radicular fue variable, lo que refuerza la necesidad de controles.
Use of platelet-rich plasma for regeneration in non-vital immature permanent teeth: clinical and CBCT evaluation	Alagl A, Bedi S, Hassan K, AlHumaid J	Journal of International Medical Research, 2017	30 dientes: coágulo 15, PRP 15	Evaluar PRP como andamio en RET.	PRP fue un andamio exitoso; salvo mayor longitud radicular, los resultados no difirieron claramente del coágulo.
Efficacy of platelet-rich plasma as a scaffold in regenerative endodontic treatment	Bezgin T, Yılmaz AD, Çelik BN, Sönmez H	Journal of Endodontics, 2015	20 dientes: coágulo 10, PRP 10	Comparar PRP y coágulo sanguíneo como andamios.	Ambos grupos fueron clínicamente exitosos; PRP puede mejorar algunos parámetros radiográficos.
The effect of platelet-rich plasma as a scaffold in regeneration/revitalization endodontics of immature permanent teeth	EISheshtawy AS, Nazzal H, El Shahawy OI, et al.	International Endodontic Journal, 2020	22 dientes: coágulo 11, PRP 11	Comparar PRP y coágulo mediante radiografía y CBCT.	Ambas técnicas mostraron resultados clínicos y radiográficos comparables; CBCT no siempre es necesario de rutina.
A randomized clinical trial of PRP in revascularization of immature necrotic teeth	Jadhav GR, Shah D, Raghvendra SS	Journal of Endodontics, 2012	20 dientes: coágulo 10, PRP 10	Evaluar si PRP mejora resultados de revascularización.	PRP puede acelerar o mejorar algunos cambios radiográficos, pero la evidencia requiere muestras mayores.
Comparison of blood clot, platelet-rich plasma, and platelet-rich fibrin as scaffolds in regenerative endodontic treatment	Shivashankar VY, Johns DA, Maroli RK, et al.	Journal of Conservative Dentistry, 2017	54 dientes: BC 15, PRP 19, PRF 20	Comparar diferentes andamios en RET.	Todos los andamios mostraron éxito; PRP/PRF pueden ofrecer ventajas en algunos parámetros.

TÍTULO	AUTOR	REVISTA/AÑO	MUESTRA	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
Evaluation of blood clot, platelet-rich plasma, platelet-rich fibrin, and platelet pellets scaffolds in regenerative endodontic treatment	Ulusoy AT, Turedi I, Cimen M, Cehreli ZC	Journal of Endodontics, 2019	73 dientes: BC 21, PRP 18, PRF 17, PP 17	Comparar cuatro andamios en RET.	Todos promovieron curación; los concentrados plaquetarios podrían mejorar ciertos resultados, sin eliminar la necesidad de seguimiento.
Regenerative endodontic procedure of immature permanent teeth with leukocyte and platelet-rich fibrin	Meschi N, Ezeldeen M, Torres Garcia AE, et al.	Journal of Endodontics, 2021	19 dientes: REP sin LPRF 13, REP+LPRF 6	Evaluar REP con y sin LPRF en dientes inmaduros necróticos.	REP fue viable para curación periapical y desarrollo radicular; se requiere cautela al interpretar resultados con LPRF.
Treatment outcomes of regenerative endodontic procedures in immature permanent teeth: retrospective study	Cheng J, et al.	Journal of Endodontics, 2022	62 dientes; seguimiento medio 22.3 meses	Evaluar éxito y factores asociados en REP.	El 80.6% tuvo resultado exitoso; los resultados radiculares dependieron de etiología y características iniciales.
MTA versus calcium hydroxide in apexification of non-vital immature permanent teeth: randomized clinical trial	Bonte E, Beslot A, Boukpepsi T, Lasfargues JJ ¹²⁷ .	Clinical Oral Investigations, 2015	30 dientes: MTA 15, Ca (OH)2 15	Comparar MTA y Ca (OH)2 para apexificación.	MTA redujo tiempo de tratamiento y mostró tasas favorables de curación; Ca (OH)2 requirió mayor seguimiento.
Treatment outcome of mineral trioxide aggregate in open apex teeth	Mente J, Leo M, Panagidis D, Saure D, Pfefferle T ¹²⁸ .	Journal of Endodontics, 2013	252 dientes con ápice abierto	Evaluar éxito clínico y radiográfico de MTA en dientes con ápice abierto.	90% de dientes examinados estaban curados; MTA es una opción predecible para cierre apical, aunque no induce maduración radicular.

Los artículos que contienen series de casos se analizaron y se resumen en la siguiente tabla:

ARTICULO	EDAD PACIENTE	PACIENTE	DIENTE (NOMENCLATURA UNIVERSAL)	ESTADO DIAGNÓSTICO	IRRIGACIÓN ANESTESIA /	MEDICACIÓN INTRACANAL	RESULTADO
Iwaya et al., 2001 ¹¹ .	13 años (caso individual)	Paciente femenino; no aplicable n	Premolar mandibular derecho; probablemente #29	Ápice abierto; periodontitis apical y tracto sinusal	No reportado en fuente secundaria; desinfección conservadora	Medicamento antibacteriano intracanal; detalle variable en reportes secundarios	Resolución de fístula, cierre apical y desarrollo radicular continuo
Banchs y Trope, 2004 ²⁰ .	11 años	Paciente único	Segundo premolar mandibular derecho, #29	Necrosis pulpar con periodontitis apical	Irrigación con NaOCl; anestesia local; mínima instrumentación	Pasta triple antibiótica: ciprofloxacino, metronidazol y minociclina	Curación periapical, aumento de grosor radicular y cierre apical
Chueh y Huang, 2009 ¹²² .	Niños/adolescentes; no individualizado	23 dientes	Varios dientes inmaduros; no universal individual	Necrosis pulpar con periodontitis/absceso	2.5% NaOCl; sin instrumentación agresiva	Hidróxido de calcio	Cicatrización y continuación del desarrollo radicular en la mayoría
Bose et al., 2009 ¹²⁵ .	No individualizado	54 casos/dientes	Varios dientes inmaduros	Sistemas de conductos necróticos	Protocolos RET reportados en expedientes; variable	TAP, Ca (OH) ₂ u otros según caso	Incremento de longitud radicular, grosor dentinario y cierre apical variable
Raju et al., 2014 ¹²⁹ .	No reportado en resumen disponible	Paciente único	FDI 45 = premolar mandibular derecho, universal #29	Pulpitis/necrosis pulpar con periodontitis apical y ápice abierto	2.5% NaOCl 10 min, solución salina y 2% CHX; anestesia local no detallada	TAP: ciprofloxacino, metronidazol y minociclina	A las 4 semanas hubo signos radiográficos de curación; evolución favorable
Silva et al., 2015 ¹³⁰ .	No reportado en resumen disponible	Paciente único	Incisivo central superior; universal no especificado	Diente inmaduro con periodontitis apical	Protocolo de una visita; desinfección y uso de Ca (OH) ₂	Hidróxido de calcio	Seguimiento de 3 años con resolución clínica y radiográfica
McCabe, 2015	No reportado	Paciente único	Diente inmaduro; no reportado	Periodontitis apical en diente inmaduro	Protocolo de una visita; irrigación no detallada en resumen	No reportado	Caso exitoso de revascularización en una visita

ARTICULO	EDAD PACIENTE	PACIENTE	DIENTE (NOMENCLATURA UNIVERSAL)	ESTADO DIAGNÓSTICO	IRRIGACIÓN ANESTESIA /	MEDICACIÓN INTRACANAL	RESULTADO
Johns et al., 2014	No reportado	Paciente único	Diente inmaduro; no reportado	Necrosis pulpar con lesión periapical	Desinfección fotoactivada; anestesia reportada no	No reportado o variable	Uso de PRF y desinfección fotoactivada; evolución favorable
Hajzadeh et al., 2019	No individualizado	3 dientes	Dientes inmaduros; no universal individual	Necrosis pulpar en dientes inmaduros	Protocolo irrigación detallada resumen RET; no en	No reportado, en resumen; barrera coronal con MTA	Seguimiento a 12 meses con evolución clínica/radiográfica favorable
Loroño et al., 2022	8 años	Paciente masculino	Incisivo central superior izquierdo, #9	Trauma, reabsorción interna, ápice abierto, lesión perirradicular, necrosis y absceso apical crónico	REP; irrigación/anestesia no detallada en resumen	No reportado en resumen disponible	Seguimiento de 4 años; tratamiento regenerativo con resolución y control de lesión
Lenzi et al., 2022	No reportado en resumen	Paciente único	Incisivo central superior derecho, #8	Necrosis pulpar, absceso apical crónico, raíz inmadura y lesión grande	RET inicial; detalles de irrigación no completos en resumen	No reportado en resumen	El caso requirió retratamiento; muestra que el éxito puede no ser permanente
Almalki et al., 2024	No reportado en resumen	Paciente único	Primer molar mandibular inmaduro; universal no especificado	Necrosis pulpar en molar permanente inmaduro	REP; irrigación/anestesia no detallada en resumen	No reportado en resumen	Resultado clínico y radiográfico favorable a 5 años
Ajram et al., 2019	No reportado	Paciente único	Molar permanente inmaduro; universal no especificado	Necrosis pulpar con periodontitis apical	Protocolo irrigación especificada resumen RET; no en	Hidróxido de calcio; barrera con MM-MTA	Seguimiento de 2 años con curación periapical
Park y Ahn, 2014	No individualizado	2 casos	Dientes permanentes inmaduros; no universal	Periodontitis apical/absceso	REP con irrigación no detallada en resumen	Hidróxido de calcio y MTA	Evolución clínica favorable en dos casos
Samsudin et al., 2021	8 años	Paciente masculino	Incisivo central superior izquierdo, FDI 21 = #9	Trauma, necrosis pulpar, ápice inmaduro	Irrigación con solución salina estéril; anestesia no detallada	Pasta doble antibiótica (DAP)	A 12 meses: desarrollo radicular continuo y cierre apical; asintomático

ARTICULO	EDAD PACIENTE	PACIENTE	DIENTE (NOMENCLATURA UNIVERSAL)	ESTADO DIAGNÓSTICO	IRRIGACIÓN ANESTESIA /	MEDICACIÓN INTRACANAL	RESULTADO
Lu et al., 2020	No reportado en resumen	2 dientes	Incisivos #8 y #9	Trauma, reabsorción externa severa/perforación radicular, necrosis	REP; protocolo de irrigación detallado en resumen	No reportado en resumen	Manejo favorable de dientes traumatizados con reabsorción; resultado variable por gravedad
Lu et al., 2022	17 años	Paciente femenino	FDI 11 y 21 = #8 y #9	Fracturas horizontales múltiples en dientes maduros traumatizados; necrosis/sintomatología	REP; irrigación/anestesia no detallada en resumen	No reportado en resumen	Éxito en dientes maduros traumatizados; útil como evidencia complementaria, no central para inmaduros
Jose et al., 2023	8-11 años	3 pacientes	4 incisivos y 1 premolar; no universal individual	Dientes inmaduros con o sin patología periapical	REP; detalles de irrigación variables/no reportados en resumen	Pasta antibiótica intracanal por 3 semanas	Inducción de coágulo si el diente estaba asintomático; resultados favorables en mayoría
Alagl et al., 2017	No individualizado	30 dientes	Varios dientes inmaduros; no universal	Trauma/caries; lesión periapical presente	2.5% NaOCl 20 mL, salina 20 mL, CHX 0.12% 10 mL; EDTA 17% en segunda cita	TAP por 3 semanas	PRP y coágulo fueron exitosos; PRP mostró mayor incremento de longitud
Bezgin et al., 2015	No individualizado	20 dientes	Varios dientes inmaduros; no universal	Trauma/caries con lesión periapical	2.5% NaOCl 20 mL, salina 20 mL, CHX 0.12% 10 mL; EDTA 5%	TAP por 3 semanas	PRP y coágulo mostraron resultados clínicos favorables
ElSheshtawy et al., 2020 ¹³¹	No individualizado	22 dientes	Varios dientes inmaduros	Trauma/dens invaginatus con lesión periapical	Primera cita: NaOCl 5.25%; segunda: NaOCl 2.5%, salina, EDTA 17%	TAP; duración no reportada	PRP y coágulo sanguíneo mostraron resultados comparables a 12 meses

ARTICULO	EDAD PACIENTE	PACIENTE	DIENTE (NOMENCLATURA UNIVERSAL)	ESTADO DIAGNÓSTICO	IRRIGACIÓN ANESTESIA /	MEDICACIÓN INTRACANAL	RESULTADO
Jadhav et al., 2012	No individualizado	20 dientes	Varios dientes inmaduros	Trauma/caries; sin lesión periapical en tabla fuente	2.5% NaOCl; instrumentación mínima con lima #60H	TAP	PRP y coágulo generaron reparación; PRP pudo favorecer mayor respuesta radiográfica
Lin et al., 2017	6-18 años	118 dientes	Varios dientes inmaduros	Trauma/dens evaginatus; periodontitis apical	20 mL NaOCl 1.5%, salina 0.9%, EDTA 17%; anestesia local según protocolo	TAP por 3 semanas	RET logró mayor desarrollo radicular; apexificación también controló infección
Alobaid et al., 2014 ¹²⁴ .	No individualizado	31 dientes	Varios dientes traumatizados inmaduros	Trauma con lesión periapical	20 mL EDTA 17%; otros pasos variables	TAP por 3 semanas	RET y apexificación con resultados clínicos aceptables; desarrollo radicular mayor con RET
Pereira et al., 2021	No individualizado	44 dientes	Dientes traumatizados inmaduros	Trauma; necrosis pulpar	6% NaOCl, 2% CHX, salina y EDTA 17% o Ca (OH) ₂ + CHX gel	TAP por 3 semanas	RET mostró mayor cambio radicular que MTA; ambos con supervivencia favorable
Jeeruphan et al., 2012 ⁶³	No individualizado	61 dientes	Varios dientes inmaduros	Trauma/caries; necrosis pulpar	5.25% NaOCl; instrumentación mínima	TAP por 3 semanas	RET tuvo mayor supervivencia y aumento de grosor/longitud que MTA o Ca (OH) ₂
Silujjai et al., 2017	No individualizado	43 dientes	Varios dientes inmaduros	Trauma/caries/dens evaginatus con lesión periapical	NaOCl 1.5-2.5% seguido de EDTA 17%	Ca (OH) ₂ o TAP	Ambos tratamientos fueron viables; resultados radiculares variables

ARTICULO	EDAD PACIENTE	PACIENTE	DIENTE (NOMENCLATURA UNIVERSAL)	ESTADO DIAGNÓSTICO	IRRIGACIÓN ANESTESIA /	MEDICACIÓN INTRACANAL	RESULTADO
Chen et al., 2016	No individualizado	38 dientes	Dientes con dens evaginatus	Dens evaginatus, necrosis, lesión periapical	Copiosa irrigación con 2.5% NaOCl; mínima instrumentación con lima #25 K	No reportado	RET favoreció continuidad radicular; apexificación tuvo resultado clínico aceptable
Bonte et al., 2015 ¹²⁷ .	No individualizado	30 dientes	Dientes inmaduros no vitales	Trauma con lesión periapical	NaOCl 3%	MTA o Ca (OH)2 según grupo	MTA redujo tiempos y mantuvo buen cierre apical; Ca (OH)2 requirió más seguimiento
Mente et al., 2013 ¹²⁸ .	No individualizado	252 dientes	Dientes con ápice abierto	Ápices abiertos; con y sin radiolucidez periapical	Protocolo de MTA variable según caso	MTA como tapón apical	90% de dientes curados; material predecible para cierre apical

132, 133, 134, 135, 136, 139

El análisis de la literatura revisada evidenció que tanto la apexificación como los procedimientos endodónticos regenerativos constituyen alternativas terapéuticas viables para el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. Ambas técnicas reportan resultados clínicos favorables en cuanto a eliminación del dolor, disminución de la inflamación, ausencia de fístula, resolución de la periodontitis apical y mantenimiento del diente en boca. Sin embargo, las diferencias más importantes entre ambas alternativas se observaron en los resultados radiográficos relacionados con el desarrollo radicular.

A partir de los estudios incluidos en las tablas, se identificó que la evidencia no favorece de manera absoluta a una sola técnica en todos los indicadores evaluados. La revascularización mostró mayores ventajas cuando se analizaron variables relacionadas con la maduración radicular, mientras que la apexificación conservó un papel importante cuando el objetivo terapéutico principal fue lograr el cierre apical, controlar la infección y permitir la obturación del conducto radicular. Por esta razón, los resultados deben interpretarse de acuerdo con el tipo de desenlace evaluado: clínico, radiográfico, estructural o funcional.

En relación con la apexificación, los estudios revisados mostraron que esta técnica continúa siendo efectiva para inducir la formación de una barrera apical y permitir la posterior obturación del conducto radicular. La apexificación con hidróxido de calcio ha sido utilizada durante décadas con resultados clínicos aceptables; sin embargo, requiere periodos prolongados de tratamiento, múltiples citas y un seguimiento estricto del paciente. Además, al no promover de manera significativa el incremento de la longitud radicular ni el engrosamiento de las paredes dentinarias, el diente puede permanecer estructuralmente debilitado.

Los estudios que respaldan la apexificación coinciden principalmente en su capacidad para resolver la infección, favorecer la cicatrización periapical y permitir el cierre apical mediante la formación de una barrera mineralizada o artificial. En este sentido, los trabajos relacionados con hidróxido de calcio, MTA y otros materiales biocerámicos muestran que la apexificación es una técnica útil cuando el objetivo clínico es lograr

un límite apical que permita obturar el conducto de manera controlada. No obstante, estos estudios también evidencian que su efecto se orienta más hacia la reparación apical que hacia la continuación real del desarrollo radicular.

Por otra parte, la apexificación con MTA mostró ventajas importantes en comparación con el hidróxido de calcio, principalmente por permitir la creación de una barrera apical artificial en menor tiempo, reducir el número de citas clínicas y favorecer un sellado apical más predecible. Los estudios sobre MTA reportaron elevadas tasas de éxito clínico y reparación periapical, lo que respalda su utilidad en dientes con ápices abiertos. No obstante, al igual que otros procedimientos de apexificación, su principal limitación es que no estimula de forma predecible la continuación del desarrollo radicular.

En los estudios donde se evaluó la apexificación con MTA, los resultados favorecieron esta alternativa frente al uso prolongado de hidróxido de calcio debido a la reducción del tiempo clínico y a la posibilidad de colocar una barrera apical en menor número de citas. Esta característica representa una ventaja importante para el control del paciente, ya que disminuye el riesgo de pérdida de seguimiento, contaminación del conducto entre citas y debilitamiento asociado al tratamiento prolongado. Sin embargo, desde el punto de vista estructural, el MTA no modifica de manera significativa las condiciones iniciales de la raíz inmadura, por lo que el diente puede conservar paredes delgadas y raíz corta.

Respecto a la revascularización o endodoncia regenerativa, los resultados reportados fueron favorables tanto clínica como radiográficamente. La literatura revisada muestra que estos procedimientos permiten la resolución de signos y síntomas clínicos, cicatrización de lesiones periapicales y, en algunos casos, continuación del desarrollo radicular. Los hallazgos radiográficos más relevantes incluyen aumento de la longitud radicular, engrosamiento de las paredes dentinarias, reducción del diámetro apical y fortalecimiento estructural del diente tratado.

Los estudios que favorecen la revascularización lo hacen principalmente por sus resultados radiográficos asociados al desarrollo radicular continuo. Trabajos como los

de Iwaya et al., Banchs y Trope, Jung et al., Shah et al. y Jeeruphan et al. reportaron resolución de lesiones periapicales, ausencia de sintomatología y cambios compatibles con maduración radicular posterior al tratamiento. Estos hallazgos incluyen incremento en la longitud de la raíz, engrosamiento de paredes dentinarias y cierre progresivo del ápice, lo que representa una diferencia relevante frente a la apexificación tradicional.

Los estudios comparativos mostraron que los dientes tratados mediante procedimientos regenerativos tienden a presentar mayores cambios radiográficos relacionados con la maduración radicular en comparación con aquellos tratados mediante apexificación. En particular, se ha reportado mayor incremento en la longitud radicular y en el grosor de las paredes dentinarias, lo cual representa una ventaja clínica importante en dientes permanentes inmaduros, ya que estas características pueden contribuir a disminuir el riesgo de fractura radicular a largo plazo.

Uno de los estudios comparativos más relevantes fue el de Jeeruphan et al., en el cual se compararon resultados radiográficos y de supervivencia de dientes inmaduros tratados mediante apexificación o procedimientos regenerativos. Los autores reportaron que los procedimientos regenerativos mostraron mayores incrementos en longitud radicular y grosor de paredes dentinarias, mientras que la apexificación permitió resultados clínicos favorables relacionados con el control de la infección. Esto demuestra que ambas técnicas pueden ser efectivas, pero que sus beneficios no son equivalentes en todos los indicadores. El estudio Mahidol comparó resultados radiográficos y de supervivencia en dientes inmaduros tratados con procedimientos regenerativos o métodos de apexificación.

Al interpretar los resultados, se observó que la revascularización fue favorecida cuando los estudios evaluaron indicadores de maduración radicular, tales como aumento de longitud de la raíz, engrosamiento de las paredes dentinarias y reducción del diámetro apical. Estos cambios son clínicamente importantes porque un diente permanente inmaduro con raíz corta y paredes delgadas presenta mayor susceptibilidad a fractura. Por ello, cuando el tratamiento logra mejorar la estructura radicular, no solo se controla

la infección, sino que también se favorece el pronóstico funcional y restaurador del órgano dentario.

Las revisiones sistemáticas y metaanálisis analizados coinciden en que ambas técnicas presentan tasas favorables de supervivencia dental y resolución de la patología periapical. Sin embargo, los procedimientos endodónticos regenerativos muestran ventajas radiográficas relacionadas con la maduración radicular. Esta diferencia es relevante porque el éxito del tratamiento en dientes inmaduros no debe limitarse a la ausencia de síntomas, sino que también debe considerar el pronóstico estructural del diente a largo plazo.

El metaanálisis de Panda et al. permitió identificar que los procedimientos regenerativos y la apexificación pueden presentar tasas similares de supervivencia dental; sin embargo, los procedimientos regenerativos mostraron mejores resultados en variables radiográficas relacionadas con el desarrollo radicular. Esta diferencia respalda la idea de que el éxito clínico y el éxito radiográfico no siempre deben interpretarse como equivalentes. Un diente puede permanecer asintomático y funcional después de una apexificación, pero continuar con una estructura radicular debilitada; mientras que un diente tratado mediante revascularización puede mostrar, además de reparación periapical, cambios estructurales favorables. El metaanálisis de Panda et al. comparó intervenciones regenerativas y apexificación en dientes jóvenes inmaduros necróticos, y reportó que ambas opciones deben valorarse de acuerdo con sus resultados clínicos y radiográficos ¹⁵.

En cuanto a los indicadores en los que ambas técnicas coinciden, los estudios revisados reportan resultados favorables en la eliminación de signos y síntomas clínicos, control de la infección, cicatrización periapical y supervivencia dental. Esto indica que la apexificación y la revascularización son opciones terapéuticas válidas para conservar dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. Por lo tanto, la diferencia principal entre ambas no se encuentra únicamente en la resolución clínica inicial, sino en la capacidad de generar o no cambios posteriores en la estructura radicular.

En los indicadores en los que difieren, la revascularización mostró mayor tendencia a favorecer la maduración radicular, mientras que la apexificación mostró mayor predictibilidad para lograr un cierre apical controlado. La apexificación, especialmente con MTA, permite crear una barrera apical que facilita la obturación del conducto; sin embargo, no busca recuperar el proceso biológico de rizogénesis. En cambio, la revascularización intenta generar un ambiente biológico favorable para que las células madre de la papila apical, los factores de crecimiento y el andamiaje intracanal participen en procesos de reparación y desarrollo radicular.

Los resultados también evidenciaron que la respuesta positiva a las pruebas de sensibilidad pulpar no se presenta de manera constante en todos los casos tratados mediante procedimientos regenerativos. Por esta razón, la ausencia de respuesta positiva no debe interpretarse necesariamente como fracaso terapéutico si existe resolución clínica, cicatrización periapical y estabilidad radiográfica. De acuerdo con la AAE, la eliminación de signos y síntomas y la evidencia de reparación ósea representan los objetivos primarios del tratamiento, mientras que el desarrollo radicular continuo y la respuesta positiva a pruebas de sensibilidad constituyen resultados deseables, pero no siempre predecibles.

De acuerdo con la American Association of Endodontists, los procedimientos endodónticos regenerativos deben evaluarse por niveles de éxito. El objetivo primario corresponde a la eliminación de signos y síntomas y a la evidencia de reparación ósea; el objetivo secundario corresponde al aumento del grosor de las paredes radiculares o de la longitud radicular; y el objetivo terciario corresponde a una respuesta positiva a las pruebas de sensibilidad pulpar. Esta clasificación permite interpretar los resultados de manera más adecuada, ya que un tratamiento puede considerarse exitoso clínicamente, aunque no todos los objetivos secundarios o terciarios se alcancen de forma completa. La guía AAE señala que el éxito de los procedimientos regenerativos se valora por objetivos primarios, secundarios y terciarios, incluyendo eliminación de síntomas, reparación ósea, aumento de grosor/longitud radicular y posible respuesta a pruebas de vitalidad.

Los resultados relacionados con la respuesta pulpar deben interpretarse con cautela, ya que la presencia de una respuesta positiva a las pruebas de sensibilidad no necesariamente confirma una regeneración pulpar histológica completa. Del mismo modo, la ausencia de respuesta no implica automáticamente fracaso, siempre que exista resolución clínica y radiográfica. Esto es importante porque los tejidos formados dentro del conducto después de un procedimiento regenerativo pueden corresponder a tejidos reparativos o mineralizados, y no siempre a un complejo pulpo-dentinario idéntico al tejido original.

Las guías clínicas revisadas también respaldan que la elección del tratamiento debe basarse en las características individuales del caso. La AAE considera indicados los procedimientos regenerativos en dientes con pulpa necrótica y ápice inmaduro, siempre que el espacio pulpar no sea requerido para una restauración con poste y que exista cooperación del paciente o de sus tutores. Por su parte, la Sociedad Europea de Endodoncia (ESE) establece que la revitalización constituye una alternativa biológicamente orientada para dientes inmaduros con necrosis pulpar, siempre que se realice bajo un protocolo clínico adecuado y con seguimiento periódico. La guía AAE establece como criterios de selección el diente con pulpa necrótica y ápice inmaduro, que el espacio pulpar no se requiera para poste/núcleo y que exista cooperación del paciente o tutor. La ESE describe la revitalización como un procedimiento dirigido al manejo de dientes inmaduros con necrosis pulpar y basado en evidencia clínica y científica disponible.

Otro hallazgo importante fue la variabilidad de los protocolos regenerativos reportados en la literatura. Los estudios difieren en la concentración de hipoclorito de sodio, uso de EDTA, tipo de medicación intracanal, empleo de pasta triple antibiótica o hidróxido de calcio, tipo de andamiaje y material de sellado coronal. Esta heterogeneidad dificulta establecer una comparación completamente uniforme entre estudios y explica por qué los resultados radiográficos pueden variar entre pacientes, incluso cuando se emplea una misma técnica terapéutica.

También se observó que el tiempo de seguimiento influye directamente en la interpretación de los resultados. La resolución de signos y síntomas clínicos puede

presentarse en los primeros meses posteriores al tratamiento; sin embargo, los cambios relacionados con longitud radicular, engrosamiento dentinario y cierre apical pueden requerir periodos más prolongados para ser evidentes. Por esta razón, los estudios con seguimientos cortos pueden subestimar los beneficios estructurales de la revascularización o no permitir una comparación adecuada con la apexificación.

Al analizar los estudios que apoyan la apexificación, se identificó que su principal fortaleza es la predictibilidad clínica para inducir una barrera apical y permitir el tratamiento endodóntico definitivo. Esta característica puede ser especialmente útil en dientes donde la continuación del desarrollo radicular no sea predecible, cuando exista dificultad para lograr sangrado apical, cuando el paciente no pueda acudir a controles prolongados o cuando el plan restaurador requiera una estrategia diferente. Por ello, aunque la revascularización presenta ventajas biológicas, la apexificación no debe considerarse obsoleta, sino una alternativa válida en casos seleccionados.

Por el contrario, al analizar los estudios que favorecen la revascularización, se observó que su principal fortaleza se relaciona con la conservación del potencial biológico del diente inmaduro. En estos casos, el tratamiento busca controlar la infección sin eliminar por completo la posibilidad de que los tejidos periapicales participen en la reparación y maduración radicular. Esta característica resulta especialmente relevante en dientes con raíces cortas, paredes delgadas y ápices ampliamente abiertos, donde la mejora estructural puede influir en la supervivencia funcional del diente a largo plazo.

En conjunto, los estudios incluidos coinciden en que tanto la apexificación como la revascularización pueden lograr resolución clínica de la infección y reparación periapical. No obstante, difieren en el impacto que tienen sobre el desarrollo radicular. La apexificación se asocia con cierre apical inducido y control del proceso infeccioso, mientras que la revascularización se relaciona con mayor posibilidad de continuar la maduración de la raíz. Esta diferencia explica por qué la elección terapéutica no debe basarse únicamente en eliminar síntomas, sino también en valorar la edad del paciente, el estadio de desarrollo radicular, el grosor de las paredes dentinarias, el diámetro apical y el pronóstico restaurador.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta revisión indican que la revascularización presenta ventajas biológicas y estructurales frente a la apexificación, especialmente cuando el objetivo terapéutico incluye favorecer el desarrollo radicular. No obstante, la apexificación continúa siendo una opción válida y predecible para el control de la infección y la formación de una barrera apical, particularmente en casos donde la revascularización no esté indicada o no sea posible por condiciones clínicas, restauradoras o de cooperación del paciente.

De manera general, la síntesis interpretativa de los resultados permite establecer que los estudios favorecen a la revascularización cuando se evalúan indicadores como longitud radicular, grosor de paredes dentinarias, reducción del diámetro apical y potencial de fortalecimiento estructural. En cambio, los estudios respaldan a la apexificación cuando se valoran indicadores como formación de barrera apical, control de la infección, posibilidad de obturación y predictibilidad clínica del procedimiento. Ambas técnicas coinciden en mostrar resultados favorables en la resolución de signos y síntomas, cicatrización periapical y conservación del diente; sin embargo, difieren en su capacidad para modificar las condiciones estructurales de la raíz inmadura.

Por lo anterior, los resultados de esta revisión no permiten afirmar que una técnica sustituya por completo a la otra, sino que muestran que ambas poseen indicaciones específicas. La revascularización debe considerarse preferentemente cuando el objetivo sea favorecer la continuación del desarrollo radicular y mejorar el pronóstico estructural del diente inmaduro. La apexificación, especialmente con MTA u otros materiales biocerámicos, continúa siendo una alternativa útil cuando se requiere un cierre apical predecible o cuando las condiciones clínicas no permiten realizar un procedimiento regenerativo.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente revisión coinciden con la literatura científica actual, la cual señala que tanto la apexificación como los procedimientos endodónticos regenerativos son alternativas terapéuticas eficaces para el manejo de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. Ambas técnicas permiten controlar la infección, favorecer la cicatrización de lesiones periapicales y mantener el diente en boca; sin embargo, presentan diferencias importantes en cuanto a sus objetivos biológicos y resultados radiográficos ¹⁵.

Esta diferencia resulta fundamental para interpretar los hallazgos de la presente investigación, ya que el éxito terapéutico en dientes permanentes inmaduros no debe valorarse únicamente por la ausencia de dolor, inflamación o fístula, sino también por la capacidad del tratamiento para mejorar las condiciones estructurales de la raíz. En este sentido, los estudios revisados muestran que la apexificación y la revascularización pueden coincidir en la resolución clínica de la infección, pero difieren en la posibilidad de favorecer la maduración radicular posterior al tratamiento ¹⁵.

Tradicionalmente, la apexificación con hidróxido de calcio fue considerada el tratamiento de elección para dientes inmaduros con necrosis pulpar y ápice abierto. Su objetivo principal consiste en inducir la formación de una barrera mineralizada a nivel apical que permita posteriormente la obturación del conducto radicular. No obstante, una de sus principales desventajas es la duración prolongada del tratamiento, ya que puede requerir varios meses e incluso más de un año para lograr la formación de dicha barrera. Durante este periodo, el paciente debe acudir a múltiples citas de control y el diente permanece estructuralmente vulnerable ⁵⁴.

La predictibilidad de la apexificación se explica porque su objetivo biológico es más limitado y controlable: formar una barrera apical que permita contener el material de obturación y lograr un sellado adecuado del conducto. Por esta razón, la apexificación continúa siendo útil en casos donde la prioridad clínica es controlar la infección, establecer un límite apical y permitir la rehabilitación del diente. Sin embargo, al tratarse de un procedimiento reparativo, no busca restablecer el proceso fisiológico de

rizogénesis ni recuperar de manera predecible el desarrollo radicular interrumpido por la necrosis pulpar ⁵⁴.

Además, el uso prolongado de hidróxido de calcio se ha relacionado con alteraciones en las propiedades mecánicas de la dentina radicular, lo que puede aumentar la susceptibilidad a fracturas, especialmente en dientes con paredes delgadas y raíces incompletamente formadas. Este aspecto representa una limitación importante, ya que el objetivo terapéutico no debe limitarse únicamente a eliminar la infección, sino también a conservar la estructura dental y mejorar el pronóstico funcional del diente a largo plazo ⁴⁷.

Este punto coincide con Andreasen et al., quienes señalaron que la permanencia prolongada del hidróxido de calcio como medicación intracanal puede asociarse con mayor riesgo de fractura radicular. En dientes permanentes inmaduros, este riesgo adquiere mayor importancia debido a que la raíz ya presenta paredes dentinarias delgadas y menor resistencia estructural desde el inicio. Por ello, aunque la apexificación con hidróxido de calcio puede lograr el cierre apical, su duración prolongada y la ausencia de fortalecimiento radicular representan limitaciones clínicas relevantes ⁴⁷.

Con la incorporación del MTA, la apexificación presentó una evolución importante, ya que este material permite formar una barrera apical artificial en menor tiempo y con mayor previsibilidad clínica. A diferencia del hidróxido de calcio, el MTA permite reducir el número de citas, favorecer un sellado apical adecuado y disminuir el riesgo de contaminación entre citas. Además, sus propiedades de biocompatibilidad, bioactividad y capacidad de inducir tejido mineralizado han respaldado su uso en dientes con ápices abiertos ¹²⁸.

Los hallazgos de Lin et al. apoyan esta interpretación, ya que en su revisión sistemática y metaanálisis compararon el uso de MTA e hidróxido de calcio para apexificación en dientes permanentes inmaduros. Sus resultados respaldan que el MTA representa una alternativa más eficiente para inducir una barrera apical, principalmente porque reduce el tiempo de tratamiento y permite un manejo clínico más predecible. Esto explica por

qué la apexificación con MTA continúa siendo una opción vigente, especialmente en aquellos casos donde se requiere cierre apical controlado y no necesariamente continuación del desarrollo radicular ¹²⁸.

A pesar de estas ventajas, la apexificación con MTA continúa compartiendo una limitación fundamental con la apexificación convencional: no promueve de manera predecible la continuación del desarrollo radicular. Aunque permite resolver la infección y formar una barrera apical, el diente puede permanecer con raíz corta, paredes dentinarias delgadas y mayor riesgo de fractura. Por esta razón, los procedimientos endodónticos regenerativos surgieron como una alternativa orientada no solo al cierre apical, sino también al fortalecimiento estructural del diente ¹²⁸.

Esta limitación explica la importancia de comparar la apexificación con la revascularización. Mientras la apexificación busca resolver el problema mecánico del ápice abierto mediante una barrera, la revascularización intenta aprovechar el potencial biológico del diente inmaduro. En otras palabras, la apexificación permite terminar el tratamiento endodóntico, pero la revascularización busca crear condiciones para que el diente continúe modificando su estructura radicular después del control de la infección ⁴⁰.

En contraste, la revascularización o endodoncia regenerativa se fundamenta en principios biológicos relacionados con la desinfección del sistema de conductos, la formación de un andamiaje intracanal y la participación de células madre, factores de crecimiento y tejidos periapicales. Su objetivo no se limita a la eliminación de la infección, sino que busca generar condiciones favorables para la reparación tisular y la continuación del desarrollo radicular en dientes permanentes inmaduros ⁴⁰.

La razón por la cual la revascularización puede favorecer el desarrollo radicular se relaciona con la persistencia de células madre en la papila apical y con la posibilidad de liberar factores de crecimiento atrapados en la dentina después de la irrigación con EDTA. Cuando se logra una adecuada desinfección del conducto, se induce sangrado apical y se forma un coágulo intracanal, este coágulo funciona como andamiaje biológico. Sobre este andamiaje pueden migrar células provenientes de los tejidos

periapicales, favoreciendo procesos de reparación, mineralización y maduración radicular ⁴⁰.

Los resultados favorables de la revascularización se relacionan con la posibilidad de inducir sangrado apical y formar un coágulo dentro del conducto radicular, el cual funciona como andamiaje biológico para la migración celular. Este principio fue descrito en protocolos clínicos iniciales, en los que la combinación de una adecuada desinfección, la formación del coágulo y el sellado coronal permitió observar cicatrización periapical y cambios compatibles con desarrollo radicular continuo ²⁰.

Banchs y Trope fueron fundamentales en la descripción clínica de este enfoque, ya que propusieron un protocolo basado en desinfección, medicación intracanal, inducción de sangrado y sellado coronario. Este modelo permitió comprender que, en dientes inmaduros, el tratamiento no necesariamente debía limitarse a inducir una barrera apical artificial, sino que podía intentar conservar o estimular el potencial biológico de los tejidos apicales remanentes ²⁰.

En términos comparativos, la literatura muestra que los procedimientos regenerativos pueden ofrecer mejores resultados radiográficos que la apexificación, principalmente en el incremento de la longitud radicular, el engrosamiento de las paredes dentinarias y la reducción del diámetro apical. Estos cambios son clínicamente relevantes porque contribuyen al fortalecimiento estructural del diente, lo cual puede mejorar su pronóstico funcional a largo plazo ⁶³.

Los resultados de Jeeruphan et al. respaldan esta diferencia, ya que en su estudio retrospectivo compararon dientes inmaduros tratados con procedimientos regenerativos y con métodos de apexificación. Los autores observaron que los procedimientos regenerativos se asociaron con mayores cambios en longitud radicular y grosor dentinario, mientras que la apexificación mantuvo utilidad clínica para el control de la infección. Esto permite interpretar que ambas técnicas pueden ser exitosas, pero no necesariamente ofrecen el mismo tipo de beneficio ⁶³.

De forma similar, Panda et al. reportaron en su revisión sistemática y metaanálisis que los procedimientos regenerativos y la apexificación pueden mostrar tasas favorables

de éxito y supervivencia dental. No obstante, los procedimientos regenerativos presentaron ventajas en indicadores radiográficos relacionados con la maduración radicular. Este hallazgo es importante porque demuestra que la diferencia entre ambos tratamientos no siempre se observa en la resolución clínica inicial, sino en la evolución estructural del diente tratado ¹⁵.

Tong et al. también contribuyen a esta interpretación, ya que en su revisión sistemática y metaanálisis evaluaron los resultados de la terapia endodóntica regenerativa en dientes permanentes inmaduros no vitales. Sus hallazgos mostraron que estos procedimientos pueden lograr resolución clínica y radiográfica, aunque con variabilidad en los resultados relacionados con maduración radicular. Esto refuerza la idea de que la revascularización tiene un fundamento biológico favorable, pero su resultado depende del protocolo utilizado, del estado inicial del diente y del tiempo de seguimiento ¹⁴⁰.

Nicoloso et al., por su parte, ofrecen un punto de contraste importante, ya que su revisión sistemática y metaanálisis no encontró diferencias estadísticamente significativas entre revascularización y apexificación en desenlaces globales y retención funcional. Este hallazgo evita interpretar la revascularización como una técnica superior en todos los aspectos. Más bien, permite sostener que ambas alternativas pueden ser clínicamente efectivas, aunque la revascularización muestra mayor interés cuando se valoran específicamente los cambios relacionados con el desarrollo radicular ¹⁴².

La revisión de Kahler et al. también coincide con esta interpretación, al señalar que ambos enfoques terapéuticos pueden ser eficaces en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, pero que los procedimientos regenerativos tienen mayor potencial para favorecer cambios relacionados con maduración radicular. De esta manera, la discusión no debe centrarse únicamente en cuál técnica “funciona más”, sino en qué tipo de éxito se está evaluando: éxito clínico, éxito radiográfico, supervivencia dental o fortalecimiento estructural ¹¹³.

Sin embargo, la superioridad de la revascularización no debe interpretarse de manera absoluta. Algunos estudios han reportado que ambas técnicas presentan resultados similares en cuanto a resolución clínica, cicatrización periapical y supervivencia dental. Esto indica que la principal diferencia entre ambas alternativas no siempre se encuentra en el control de la infección, sino en la posibilidad de favorecer cambios estructurales radiculares posteriores al tratamiento ¹²⁴.

Tewari et al., en una revisión paraguas reciente, también señalan que los procedimientos endodónticos regenerativos representan una alternativa biológicamente favorable para dientes permanentes inmaduros necróticos; sin embargo, advierten que la heterogeneidad de los protocolos, el número limitado de ensayos clínicos aleatorizados y los tiempos de seguimiento relativamente cortos obligan a interpretar los resultados con cautela. Esto coincide con la presente revisión, ya que la revascularización muestra ventajas estructurales, pero aún requiere mayor estandarización metodológica para establecer conclusiones definitivas ².

Otro aspecto importante es que el tejido formado dentro del conducto después de los procedimientos regenerativos no siempre corresponde histológicamente a un complejo pulpo-dentinario normal. Diversos estudios han señalado que puede tratarse de tejido reparativo, tejido mineralizado, tejido similar a cemento, hueso o tejido conectivo. Por ello, aunque clínicamente se utilice el término “regeneración”, desde el punto de vista histológico los resultados pueden ser variables y no siempre representan una regeneración pulpar verdadera ¹⁴².

Esta consideración es importante porque permite discutir los resultados con mayor precisión. La revascularización puede favorecer signos clínicos y radiográficos compatibles con maduración radicular, pero esto no significa necesariamente que se haya formado una pulpa idéntica a la original. Por ello, en la literatura actual se reconoce que muchos de estos procedimientos producen principalmente reparación tisular y formación de tejido mineralizado, más que una regeneración histológica completa del complejo pulpo-dentinario ^{142, 143}.

La variabilidad de los resultados también puede explicarse por la falta de estandarización universal de los protocolos clínicos. Los estudios publicados difieren en el tipo y concentración de irrigantes, medicación intracanal, duración entre citas, tipo de andamiaje utilizado, biomaterial de sellado y criterios empleados para definir el éxito. Esta heterogeneidad limita la comparación directa entre investigaciones y explica por qué algunos resultados radiográficos no son completamente predecibles ¹³.

La European Society of Endodontology resalta la importancia de seguir protocolos clínicos controlados en procedimientos de revitalización, especialmente en lo relacionado con mínima instrumentación, desinfección química, inducción de sangrado, sellado coronal y seguimiento clínico-radiográfico. Esta postura coincide con los hallazgos de la presente revisión, ya que gran parte de la variabilidad reportada entre estudios puede explicarse por diferencias en la concentración de hipoclorito, uso de EDTA, tipo de medicación intracanal, andamiaje empleado y biomaterial de sellado ¹³.

Asimismo, los procedimientos regenerativos pueden presentar complicaciones clínicas. Una de las más frecuentes es la decoloración coronaria, especialmente en dientes anteriores, asociada al uso de pasta triple antibiótica con minociclina, al contacto de materiales biocerámicos con sangre o al empleo de materiales con radiopacificadores capaces de modificar el color dental. Por ello, se han propuesto estrategias preventivas como el sellado dentinario de la cámara pulpar, el uso de medicaciones alternativas y la selección de biomateriales con menor potencial de pigmentación ¹⁴⁴.

Estas complicaciones no invalidan la utilidad de la revascularización, pero sí demuestran que su indicación debe realizarse con criterio clínico. En dientes anteriores, por ejemplo, el riesgo estético puede ser relevante, por lo que la selección de la medicación intracanal y del material de sellado debe planificarse cuidadosamente. Esto refuerza la idea de que la revascularización no debe aplicarse de manera automática en todos los casos de dientes inmaduros necróticos, sino considerando las necesidades funcionales, biológicas y estéticas del paciente ¹⁴⁴.

También debe considerarse que la selección del tratamiento depende de factores clínicos específicos. La revascularización puede ser preferible cuando se busca favorecer el desarrollo radicular continuo en dientes con paredes delgadas y ápice abierto; sin embargo, puede no ser la mejor alternativa cuando el diente requiere un poste radicular para su rehabilitación, cuando presenta fractura vertical, pérdida periodontal severa, imposibilidad de aislamiento absoluto o falta de cooperación del paciente. En estos casos, la apexificación con MTA u otros biocerámicos puede representar una opción más predecible ¹⁷.

La American Association of Endodontists establece que los procedimientos regenerativos están indicados principalmente en dientes con necrosis pulpar y ápice inmaduro, siempre que el espacio pulpar no sea necesario para la colocación de un poste y que exista cooperación del paciente o de sus tutores. Además, la AAE clasifica los objetivos del tratamiento en primarios, secundarios y terciarios: primero, la eliminación de signos y síntomas y la reparación ósea; segundo, el aumento de longitud radicular y grosor dentinario; y tercero, la posible respuesta positiva a pruebas de sensibilidad. Esta clasificación ayuda a explicar por qué un caso puede considerarse exitoso, aunque no presente todos los cambios esperados ¹⁷.

El seguimiento clínico y radiográfico constituye un elemento indispensable para valorar el éxito de ambos tratamientos. En los procedimientos regenerativos, la resolución de signos y síntomas puede observarse antes que los cambios estructurales radiculares, los cuales suelen requerir periodos más prolongados para ser evidentes. Por ello, el éxito terapéutico no debe evaluarse únicamente en las primeras citas posteriores al tratamiento, sino mediante controles periódicos que permitan valorar cicatrización periapical, desarrollo radicular, estabilidad clínica y ausencia de complicaciones ¹⁷.

En este sentido, el tiempo de seguimiento representa una variable decisiva. Los cambios clínicos como disminución del dolor, desaparición de fístula o reducción de inflamación pueden observarse en etapas tempranas; sin embargo, el aumento de longitud radicular y el engrosamiento de las paredes dentinarias suelen requerir seguimientos más prolongados. Esta diferencia temporal puede explicar por qué

algunos estudios reportan éxito clínico sin cambios radiográficos significativos, mientras que otros, con controles a mediano o largo plazo, identifican mayor maduración radicular ^{126, 17}.

Al integrar los hallazgos de Panda, Tong, Nicoloso, Kahlery Tewari, puede observarse que la evidencia no debe interpretarse como una competencia simple entre dos técnicas, sino como una comparación de objetivos terapéuticos distintos. La apexificación es predecible porque permite resolver el problema del ápice abierto mediante una barrera apical; en cambio, la revascularización resulta biológicamente atractiva porque intenta reactivar o aprovechar el potencial de maduración del diente inmaduro. Por ello, la elección del tratamiento depende de qué objetivo sea más importante en cada caso: cierre apical controlado o desarrollo radicular continuo ¹⁵.

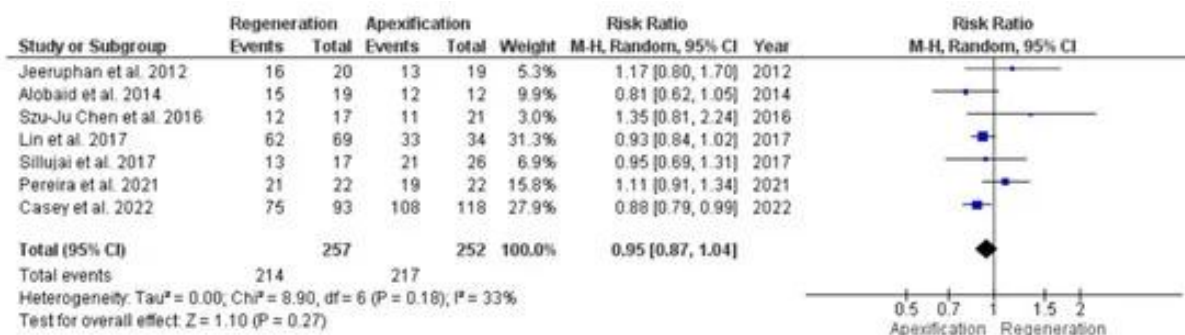


Figura 12. Metaanálisis de tasa de éxito de procedimientos regenerativos frente a apexificación ¹⁵.

Finalmente, la evidencia analizada permite señalar que la revascularización representa una alternativa biológicamente favorable frente a la apexificación, principalmente por su potencial para favorecer la maduración radicular. No obstante, la apexificación continúa siendo una técnica válida y clínicamente predecible para inducir cierre apical y controlar la infección. Por lo tanto, no debe considerarse que una técnica sustituya completamente a la otra, sino que ambas forman parte de un conjunto de opciones terapéuticas cuya indicación debe individualizarse de acuerdo con el caso clínico ².

La discusión de los resultados permite establecer que la revascularización favorece el desarrollo radicular porque se basa en principios de ingeniería tisular: desinfección del

conducto, liberación de factores de crecimiento, formación de un andamiaje intracanal y participación de células de la papila apical y tejidos periapicales. La apexificación, por su parte, sigue siendo predecible porque su objetivo es más controlado: inducir o colocar una barrera apical que permita la obturación y el control de la infección. Por ello, la revascularización puede ofrecer mayores ventajas estructurales cuando existe potencial biológico para continuar la maduración radicular, mientras que la apexificación mantiene su valor clínico en casos donde se requiere cierre apical controlado, el procedimiento regenerativo no está indicado o las condiciones restauradoras del diente limitan su aplicación.

CONCLUSIONES

A partir de la revisión de la literatura científica, se concluye que tanto la apexificación como la revascularización constituyen alternativas terapéuticas viables para el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. Ambas técnicas permiten controlar la infección, favorecer la resolución de signos y síntomas clínicos y contribuir a la cicatrización de lesiones periapicales.

La apexificación continúa siendo un tratamiento predecible para inducir la formación de una barrera apical, especialmente cuando se emplean materiales biocerámicos como el MTA. Esta técnica resulta útil en casos donde el objetivo principal es lograr el cierre apical y permitir la obturación del conducto radicular. Sin embargo, su principal limitación es que no promueve de manera significativa la continuación del desarrollo radicular, por lo que el diente puede conservar paredes delgadas y mayor riesgo de fractura a largo plazo.

La revascularización o endodoncia regenerativa ha demostrado ventajas importantes en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, principalmente por su capacidad para favorecer cambios radiográficos relacionados con la maduración radicular. Entre estos cambios destacan el aumento de la longitud radicular, el engrosamiento de las paredes dentinarias y la reducción del diámetro apical, factores que pueden mejorar el pronóstico estructural y funcional del diente tratado.

Aunque la revascularización ofrece ventajas biológicas frente a la apexificación, sus resultados no son completamente predecibles. La respuesta al tratamiento puede variar de acuerdo con la edad del paciente, el grado de desarrollo radicular, la magnitud de la infección, el protocolo de desinfección, el tipo de medicación intracanal, el biomaterial utilizado y el cumplimiento de los controles de seguimiento.

La evidencia disponible indica que ambas técnicas presentan tasas favorables de supervivencia dental y resolución de la patología periapical. Por ello, la diferencia principal entre apexificación y revascularización no se relaciona únicamente con el

control de la infección, sino con la posibilidad de lograr desarrollo radicular continuo y fortalecimiento estructural del diente.

La selección del tratamiento debe realizarse de manera individualizada, considerando las características clínicas del paciente, el estadio de desarrollo radicular, el diámetro apical, la cantidad de estructura dentaria remanente, el pronóstico restaurador, la posibilidad de aislamiento absoluto y la cooperación del paciente o sus tutores.

Los procedimientos endodónticos regenerativos representan una alternativa prometedora y biológicamente orientada; sin embargo, aún existe variabilidad en los protocolos clínicos y en los criterios utilizados para evaluar el éxito. Por esta razón, se requiere mayor investigación clínica con seguimientos a largo plazo, protocolos estandarizados y evaluación histológica que permita comprender con mayor precisión la naturaleza de los tejidos formados dentro del conducto radicular.

En conclusión, la revascularización puede considerarse una opción terapéutica favorable cuando el objetivo es conservar el diente y promover su desarrollo radicular continuo; mientras que la apexificación, especialmente con MTA, continúa siendo una alternativa válida cuando se busca inducir una barrera apical de forma predecible. Ambas técnicas deben formar parte del criterio clínico del odontólogo, siempre basándose en la evidencia científica disponible y en las necesidades específicas de cada caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wigler R, Kaufman AY, Lin S, Steinbock N, Hazan-Molina H, Torneck CD. Revascularization: a treatment for permanent teeth with necrotic pulp and incomplete root development. *J Endod*. 2013;39(3):319-326.
2. Tewari S, Goyal A, Iqbal A, Nazzal H. Success of regenerative endodontic treatment in immature necrotic permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J*. 2022;55(2):95-113.
3. Dammaschke T. The history of direct pulp capping. *J Hist Dent*. 2008;56(1):9-23.
4. Canalda C, Brau E. *Endodoncia: técnicas clínicas y bases científicas*. 2a ed. Barcelona: Elsevier; 2006.
5. Mitchell DF, Shankwalker GB. Osteogenic potential of calcium hydroxide and other materials in soft tissue and bone wounds. *J Dent Res*. 1958;37(6):1157-1163.
6. Gawthaman M, Vinodh S, Mathian VM, Vijayaraghavan R, Karunakaran R. Apexification with calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate: report of two cases. *J Pharm Bioallied Sci*. 2013;5(Suppl 2): S131-S134.
7. Castellucci A. The apical barrier technique in a den in dente: literature review and endodontic case report. *Dent Today*. 2005;24(9):78, 80, 82 passim; quiz 87.
8. Dali M, Rajbanshi L. Regenerative endodontics: changes, chances, and challenges of revascularization in pediatric dentistry. *SRM J Res Dent Sci*. 2014;5(3):186-189.
9. Kling M, Cvek M, Mejare I. Rate and predictability of pulp revascularization in therapeutically reimplanted permanent incisors. *Endod Dent Traumatol*. 1986;2(3):83-89.
10. Witherspoon DE, Ham K. One-visit apexification: technique for inducing root-end barrier formation in apical closures. *Pract Proced Aesthet Dent*. 2001;13(6):455-460.
11. Iwaya SI, Ikawa M, Kubota M. Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dent Traumatol*. 2001;17(4):185-187.

12. Jung IY, Lee SJ, Hargreaves KM. Biologically based treatment of immature permanent teeth with pulpal necrosis: a case series. *J Endod.* 2008;34(7):876-887.
13. Galler KM, Krastl G, Simon S, Van Gorp G, Meschi N, Vahedi B, et al. European Society of Endodontology position statement: revitalization procedures. *Int Endod J.* 2016;49(8):717-723.
14. Chen Y, Chen X, Zhang Y, Zhou F, Deng J, Zou J, et al. Materials for pulpotomy in immature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2019;19(1):227.
15. Panda P, Mishra L, Govind S, Panda S, Lapinska B. Clinical outcome and comparison of regenerative and apexification intervention in young immature necrotic teeth: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med.* 2022;11(13):3909.
16. Priya R, Nair RR, George R. Success and complication rates of revascularization procedures for immature necrotic teeth: a systematic review. *Cureus.* 2023;15(1): e51364.
17. American Association of Endodontists. Clinical considerations for a regenerative procedure. Chicago: American Association of Endodontists; 2022.
18. Kahler B, Lu J, Taha NA. Regenerative endodontic treatment and traumatic dental injuries. *Dent Traumatol.* 2024;40(6):618-635.
19. Stefanidou M, Kostenkova A, Siudikiene J, Lodiene G. Evaluation of outcomes in immature teeth after revitalization or apexification procedures: a systematic review and meta-analysis. *Cureus.* 2024;16(5): e60357.
20. Banchs F, Trope M. Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol. *J Endod.* 2004;30(4):196-200.
21. Bordoni N, Escobar A, Castillo R. *Odontologia pediátrica: la salud bucal del niño y del adolescente en el mundo actual.* Buenos Aires: Medica Panamericana; 2010.
22. Ten Cate AR. *Oral Histology: Development, Structure, and Function.* 8th ed. St Louis: Elsevier; 2013.

23. Cvek M. Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha: a retrospective clinical study. *Endod Dent Traumatol.* 1992;8(2):45-55.
24. Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L. *Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth.* 4th ed. Oxford: Blackwell Munksgaard; 2007.
25. Biedma-Perea M, Arenas-Gonzalez M, Barra-Soto MJ, Caleza-Jimenez C, Ribas-Perez D. Regenerative endodontic treatment in permanent incisors: two case reports with 6 years of follow-up. *Children (Basel).* 2026;13(2):246.
26. Plascencia H, Diaz M, Gascon LG, Ontiveros JC, Arriola A, Osorio R, et al. Management of permanent teeth with necrotic pulps and open apices according to the stage of root development. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(11): e1329-e1339.
27. Hargreaves KM, Berman LH. *Cohen's Pathways of the Pulp.* 12th ed. St Louis: Elsevier; 2021.
28. Ingle JI, Bakland LK, Baumgartner JC. *Ingle's Endodontics.* 6th ed. Hamilton: BC Decker; 2008.
29. Jimenez-Pascual S, Gallardo-Lopez NE, Mourelle-Martinez MR. Regeneracion/revitalizacion pulparen dientes permanentes inmaduros. *Cient Dent.* 2024;21(1):22-29.
30. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol.* 1994;10(2):91-93.
31. Rivera EM, Yamauchi M. Site comparisons of dentine collagen cross-links from extracted human teeth. *Arch Oral Biol.* 1993;38(7):541-546.
32. Kinney JH, Nalla RK, Poplec JA, Breunig TM, Ritchie RO. Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. *Biomaterials.* 2005;26(16):3363-3376.
33. Diezden A. El reto clinico del apice abierto: apexificación y apicogénesis, conceptos actuales [Internet]. *Odontologia Virtual;* 2025 [citado 2026 Jun 2]. Disponible en: <https://www.odontologiavirtual.com/>

34. Camargo Guevara PA, Sossa Rojas H. Revascularización pulpar mediante la utilización de plasma rico en plaquetas autólogo o en combinación con una matriz colágena, como posibilidades terapéuticas para dientes con ápice abierto, pulpa necrótica y/o patología periapical. *Acta Odontol Colomb*. 2014;4(1):113-129.
35. Hargreaves KM, Berman LH. *Cohen's Pathways of the Pulp*. 11th ed. St Louis: Elsevier; 2016.
36. Bucchi C. Tratamiento del diente permanente necrótico: un cambio de paradigma en el campo de la endodoncia. *Int J Odontostomatol*. 2020;14(4):670-677.
37. Torabinejad M, Walton RE. *Endodoncia: principios y práctica*. 4a ed. Barcelona: Elsevier; 2010.
38. Velasquez V, Paucar M. Tratamiento pulpar en la apexificación del diente inmaduro mediante agregado de trióxido mineral. *Odontol Sanmarquina*. 2009;12(1):29-32.
39. Mondragon Espinoza JD. *Endodoncia*. Mexico: Interamericana; 1995.
40. Hargreaves KM, Diogenes A, Teixeira FB. Treatment options: biological basis of regenerative endodontic procedures. *J Endod*. 2013;39(3 Suppl): S30-S43.
41. American Association of Endodontists. *Glossary of Endodontic Terms*. 10th ed. Chicago: American Association of Endodontists; 2020.
42. Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, Ekstrand K, Weintraub JA, Ramos-Gomez F, et al. Dental caries. *Nat Rev Dis Primers*. 2017; 3:17030.
43. American Association of Endodontists. *Guide to Clinical Endodontics*. 6th ed. Chicago: American Association of Endodontists; 2022.
44. Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L. *Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth*. 5th ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2018.
45. Cohen S, Hargreaves KM, Berman LH, Rotstein I. *Pathways of the Pulp*. 11th ed. St Louis: Elsevier; 2016.
46. Torabinejad M, Walton RE. *Endodontics: Principles and Practice*. 6th ed. St Louis: Elsevier; 2020.

47. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol*. 2002;18(3):134-137.
48. Perez A. Odontopediatria: ¿cuál es su criterio para establecer el diagnóstico y el tratamiento de la necrosis pulpar en diente permanente joven? *Canal Abierto*. 2012; 25:10-12.
49. Hargreaves KM, Cohen S, Berman LH. *Vías de la pulpa*. 10a ed. Barcelona: Elsevier; 2011.
50. Torabinejad M, Walton RE. *Endodoncia: principios y práctica*. 5a ed. Barcelona: Elsevier; 2015.
51. Nageswar R. *Endodoncia avanzada: ingeniería tisular en endodoncia*. India: Amolca; 2011. p. 337-340.
52. Bukhary S. Apexification of an endodontically failed permanent tooth with an open apex: a case report with histological findings. *Medicina (Kaunas)*. 2025;61(2):276.
53. Kahler B. Endodontic retreatment of maxillary incisors previously treated with a conventional apexification protocol: a case report. *Aust Endod J*. 2011;37(1):31-35.
54. Rafter M. Apexification: a review. *Dent Traumatol*. 2005;21(1):1-8.
55. Hansen SW, Marshall JG, Sedgley CM. Comparison of intracanal EndoSequence root repair material and ProRoot MTA to induce pH changes in simulated root resorption defects over 4 weeks in matched pairs of human teeth. *J Endod*. 2011;37(4):502-506.
56. Estrela C, Holland R. Calcium hydroxide: study based on scientific evidence. *J Appl Oral Sci*. 2003;11(4):269-282.
57. Estrela C. *Ciencia endodóntica*. 1a ed. Sao Paulo: Artes Medicas; 2005.
58. American Academy of Pediatric Dentistry. Pulp therapy for primary and immature permanent teeth. In: *The Reference Manual of Pediatric Dentistry*. Chicago: American Academy of Pediatric Dentistry; 2024.

59. Sheehy EC, Roberts GJ. Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review. *Br Dent J.* 1997;183(7):241-246.
60. Khetarpal A, Chaudhry S, Talwar S, Verma M. Endodontic management of open apex using MTA and platelet-rich fibrin membrane barrier: a newer matrix concept. *J Clin Exp Dent.* 2013;5(5): e291-e294.
61. Consolandich R, Ferreyra W, Anat D. Nuevos procedimientos en el manejo de ápices incompletamente formados en dientes sin vitalidad pulpar. *Actas Odontol.* 2007;4(2):14-22.
62. Cardoso P, et al. Alternativas clínicas para el tratamiento de dientes traumatizados con rizogénesis incompleta: una visión actualizada. *Rev Estomatol Herediana.* 2016;26(4):271-280.
63. Jeeruphan T, Jantararat J, Yanpiset K, Suwannapan L, Khewsawai P, Hargreaves KM. Mahidol study 1: comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods: a retrospective study. *J Endod.* 2012;38(10):1330-1336.
64. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999;25(3):197-205.
65. Torabinejad M, White DJ. Tooth filling material and method of use. United States patent US5415547. 1995 May 16.
66. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review. Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod.* 2010;36(1):16-27.
67. Basrani BR, Manek S, Sodhi RNS, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod.* 2007;33(8):966-969.
68. Aggarwal V, Miglani S, Singla M. Conventional apexification and revascularization induced maturogénesis of two non-vital, immature teeth in same patient: 24 months follow up of a case. *J Conserv Dent.* 2012;15(1):68-72.

69. Nosrat A, Seifi A, Asgary S. Regenerative endodontic treatment for necrotic immature permanent molars: a review and report of two cases with a new biomaterial. *J Endod.* 2011;37(4):562-567.
70. Staffoli S, Plotino G, Nunez Torrijos BG, Grande NM, Bossu M, Gambarini G, et al. Regenerative endodontic procedures using contemporary endodontic materials. *Materials (Basel).* 2019;12(6):908.
71. Sedgley CM, Cherkas P, Chogle SMA, Geisler T, Hargreaves KM, Paranjpe A, et al. Regenerative endodontics [Internet]. Chicago: American Association of Endodontists; 2013 [citado 2026 Jun 2]. Disponible en: <https://www.drmyersendo.com/pdfs/2013-regenerative-endo.pdf>
72. Mao JJ, Kim SG, Zhou J, Ye L, Cho S, Suzuki T, et al. Stem cells and tissue engineering approaches for dental pulp regeneration. *Dent Clin North Am.* 2012;56(3):639-649.
73. Canalda Sahli C, Brau Aguade E. Conceptos de endodoncia. En: Canalda Sahli C, Brau Aguade E, editores. *Endodoncia: técnicas clínicas y bases científicas.* 3a ed. Barcelona: Elsevier Masson; 2014. p. 15-17.
74. Huang GTJ. Apexification: the beginning of its end. *Int Endod J.* 2009;42(10):855-866.
75. Yang M. Regenerative endodontics: a new treatment modality for pulp regeneration. *JSM Dent.* 2013;1(2):1011.
76. Saoud TMA, Ricucci D, Lin LM, Gaengler P. Regeneration and repair in endodontics: a new era in clinical endodontics. *Dent J (Basel).* 2016;4(1):3.
77. Rendon J, Jimenez LP, Urrego PA. Células madre en odontología. *Rev CES Odontol.* 2011;24(1):45-54.
78. Huang GTJ. A paradigm shifts in endodontic management of immature teeth: conservation of stem cells for regeneration. *J Dent.* 2008;36(6):379-386.
79. Paryani K, Kim SG. Regenerative endodontic treatment of permanent teeth after completion of root development: a report of 2 cases. *J Endod.* 2013;39(7):929-934.

80. Yousef SA. Calcium hydroxide and apexogenesis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1988;66(4):499-501.
81. Lee LW, Hsieh SC, Lin YH, Huang CF, Hsiao SH, Hung WC. Comparison of clinical outcomes for 40 necrotic immature permanent incisors treated with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate apexification/apexogenesis. *J Formos Med Assoc.* 2015;114(2):139-146.
82. Corbella S, Ferrara G, El Kabbaney A, Taschieri S. Apexification, apexogenesis and regenerative endodontic procedures: a review of the literature. *Minerva Stomatol.* 2014;63(11-12):375-389.
83. Murray PE, Garcia-Godoy F, Hargreaves KM. Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *J Endod.* 2007;33(4):377-390.
84. Abbas AK, Lichtman AH, Pillai S. *Inmunologia celular y molecular.* 7a ed. Barcelona: Elsevier; 2012.
85. Galler KM, D'Souza RN, Federlin M, Cavender AC, Hartgerink JD, Hecker S, et al. Dentin conditioning codetermines cell fate in regenerative endodontics. *J Endod.* 2011;37(11):1536-1541.
86. Yamauchi N, Yamauchi S, Nagaoka D, Dugan D, Zhong S, Lee SM, et al. Tissue engineering strategies for immature teeth with apical periodontitis. *J Endod.* 2011;37(3):390-397.
87. Huang GTJ, Sonoyama W, Liu Y, Liu H, Wang S, Shi S. The hidden treasure in apical papilla: the potential role in pulp/dentin regeneration and bioroot engineering. *J Endod.* 2008;34(6):645-651.
88. American Association of Endodontists. *Regenerative endodontics clinical considerations.* Chicago: American Association of Endodontists; 2021.
89. Hoshino E, Kurihara-Ando N, Sato I, Uematsu H, Sato M, Kota K, et al. In-vitro antibacterial susceptibility of bacteria taken from infected root dentine to a mixture of ciprofloxacin, metronidazole and minocycline. *Int Endod J.* 1996;29(2):125-130.
90. Torabinejad M, Turman M. Revitalization of tooth with necrotic pulp and open apex using platelet-rich plasma. *J Endod.* 2011;37(2):265-268.

91. Abu Zeid ST, Alamoudi RA, Alothmani OS, Mokeem Saleh AA, Siddiqui AY. A prospective study of long-term regenerative endodontics outcomes of necrotic immature permanent teeth: an 8-year follow-up. *Healthcare (Basel)*. 2021;9(12):1670.
92. Diogenes A, Henry MA, Teixeira FB, Hargreaves KM. An update on clinical regenerative endodontics. *Endod Topics*. 2013;28(1):2-23.
93. Mercade M, Gavino JF. Endodoncia regenerativa. En: Duran-Sindreu F, coordinador. *Manual de endodoncia: la guía definitiva*. España: Edra; 2022. p. 251-256.
94. Markandey S, Adhikari HD, Sujith R, Gupta A. Evaluation of blood clot, platelet-rich plasma, and platelet-rich fibrin-mediated regenerative endodontic procedures in teeth with periapical pathology: a CBCT study. *Restor Dent Endod*. 2022;47(4): e41.
95. Kontakiotis EG, Filippatos CG, Tzanetakis GN, Agrafioti A. Regenerative endodontic therapy: a data analysis of clinical protocols. *J Endod*. 2015;41(2):146-154.
96. Méndez V, Madrid K, Amador E, Silva-Herzog D, Oliva R. Revascularización en dientes permanentes con ápice inmaduro y necrosis pulpar: revisión bibliográfica. *Rev ADM*. 2014;71(3):110-114.
97. Shah N, Logani A, Bhaskar U, Aggarwal V. Efficacy of revascularization to induce apexification/apexogenesis in infected, nonvital, immature teeth: a pilot clinical study. *J Endod*. 2008;34(8):919-925.
98. Ruparel NB, Teixeira FB, Ferraz CCR, Diogenes A. Direct effect of intracanal medicaments on survival of stem cells of the apical papilla. *J Endod*. 2012;38(10):1372-1375.
99. Yassen GH, Platt JA, Hara AT. Bacterial-induced changes in dentin structure and mechanical properties. *J Endod*. 2011;37(10):1367-1372.
100. Cabanillas-Balsera J, Martín-González J, Segura-Egea JJ. Revascularización pulpar: una alternativa terapéutica en dientes inmaduros necróticos. *Endodoncia*. 2018;36(2):51-53.

101. Rojas-Gutiérrez W, Pineda-Velez E, Agudelo-Suarez AA. Regenerative endodontics success factors and their overall effectiveness: an umbrella review. *Irán Endod J.* 2022;17(3):90-105.
102. Diogenes A, Ruparel NB, Shiloah Y, Hargreaves KM. Regenerative endodontics: a way forward. *J Am Dent Assoc.* 2016;147(5):372-380.
103. Santiago E, Lao N, Urgelles Y, Riesgo Y, Noa Y. Endodontic regeneration with stem cells. *MEDISAN.* 2014;18(12):1748-1758.
104. Perona M, Mungi S. Tratamiento endodóntico no instrumentado en dientes deciduos. *Rev Odontopediatra Latinoam.* 2014;4(1):1-17.
105. Obando A, Muralles M, Silva-Herzog D, Cerda B, Pozos A. Medicación intraconducto utilizada para revascularización de dientes necróticos y formación radicular incompleta. *Rev ADM.* 2015;72(3):124-128.
106. Miegimolle M, Gucciardino F. Revascularización con pasta triantibiótica: revisión bibliográfica. *Cient Dent.* 2015;12(1):15-20.
107. Zhang Q, Zhang F, Sun M. Comparative success rates of regenerative endodontic procedures versus traditional root canal therapy: a meta-analysis of long-term clinical outcomes. *Br Dent J.* 2025.
108. European Society of Endodontology. European Society of Endodontology position statement: revitalization procedures. *Int Endod J.* 2021;54(4):655-673.
109. Alfahadi HR, Alqurashi AE, Alghamdi FT, Aljameel AH, Alomar H, Almutairi W, et al. Clinical and radiographic outcomes of regenerative endodontic treatment performed by endodontic postgraduate students: a retrospective study. *Restor Dent Endod.* 2022;47: e24.
110. Anas M, Sultan MU, Ali S, Ullah I. Clinical outcomes of regenerative endodontic procedures compared with apexification in young immature necrotic teeth: a systematic review of randomized controlled trials. *Odontology.* 2026.
111. Alshamrani WA, Alzarea SS, Alabbas JK, Alabbas AK, Alkazman FH, Issrani R. Regenerative endodontics and stem cell-based therapies: a systematic review. *J Pharm Bioallied Sci.* 2026;18(Suppl 1): S29-S31.

112. Alothman FA, Hakami LS, Alnasser A, AlGhamdi FM, Alamri AA, Almutairi BM. Recent advances in regenerative endodontics: a review of current techniques and future directions. *Cureus*. 2024;16(11): e74121.
113. Kahler B, Rossi-Fedele G, Chugal N, Lin LM. An evidence-based review of the efficacy of treatment approaches for immature permanent teeth with pulp necrosis. *J Endod*. 2017;43(7):1052-1057.
114. Fabero Sanchez M. Revascularización pulpar en dientes adultos [Internet]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2018 [citado 2025 Dic]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstreams/a017f7c5-9c2b-4bd8-982f-28aec5825f84/download>
115. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372: n71.
116. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud. Mexico: Diario Oficial de la Federación; 2014.
117. World Medical Association. WMA Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human participants. Ferney-Voltaire: World Medical Association; 2024.
118. Stefanidou M, Kostenkova A, Siudikienė J, Lodienė G. Evaluation of outcomes in immature teeth after revitalization or apexification procedures: a systematic review and meta-analysis. *Cureus*. 2024;16(5): e60357.
119. Sabeti M, Ghobrial D, Zanjir M, da Costa BR, Young Y, Azarpazhooh A. Treatment outcomes of regenerative endodontic therapy in immature permanent teeth with pulpal necrosis: a systematic review and network meta-analysis. *Int Endod J*. 2024;57(4):385-404.
120. Li J, Zheng L, Daraqel B, Liu J, Hu Y. Treatment outcome of regenerative endodontic procedures for necrotic immature and mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis based on randomised controlled trials. *Oral Health Prev Dent*. 2023;21(1):141-152.

121. Wei X, Yang M, Yue L, Huang D, Zhou X, Wang X, et al. Expert consensus on regenerative endodontic procedures. *Int J Oral Sci.* 2022;14(1):55.
122. Chueh LH, Huang GTJ. Regenerative endodontic treatment for necrotic immature permanent teeth. *J Endod.* 2009;35(2):160-164.
123. Lin J, Zeng Q, Wei X, Zhao W, Cui M, Gu J, et al. Regenerative endodontics versus apexification in immature permanent teeth with apical periodontitis: a prospective randomized controlled study. *J Endod.* 2017;43(11):1821-1827.
124. Alobaid AS, Cortes LM, Lo J, Nguyen TT, Albert J, Abu-Melha AS, et al. Radiographic and clinical outcomes of immature permanent teeth treated by revascularization or apexification: a pilot retrospective cohort study. *J Endod.* 2014;40(8):1063-1070.
125. Bose R, Nummikoski P, Hargreaves K. A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures. *J Endod.* 2009;35(10):1343-1349.
126. Kahler B, Mistry S, Moule A, Ringsmuth AK, Case P, Thomson A, et al. Revascularization outcomes: a prospective analysis of 16 consecutive cases. *J Endod.* 2014;40(3):333-338.
127. Bonte E, Beslot A, Boukpepsi T, Lasfargues JJ. MTA versus Ca (OH)₂ in apexification of non-vital immature permanent teeth: a randomized clinical trial comparison. *Clin Oral Investig.* 2015;19(6):1381-1388.
128. Mente J, Leo M, Panagidis D, Saure D, Pfefferle T. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate in open apex teeth. *J Endod.* 2013;39(1):20-26.
129. Raju SMK, Yadav SS, Kumar MSR. Revascularization of immature mandibular premolar with pulpal necrosis: a case report. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(9): ZD29-ZD31.
130. Silva MHC, Campos CN, Coelho MS. Revascularization of an immature tooth with apical periodontitis using calcium hydroxide: a 3-year follow-up. *Open Dent J.* 2015; 9:482-485.

131. ElSheshtawy AS, Nazzal H, El Shahawy OI, El Baz AA, Ismail SM, Kang J, et al. The effect of platelet-rich plasma as a scaffold in regeneration/revitalization endodontics of immature permanent teeth. *Int Endod J.* 2020;53(7):905-921.
132. Lenzi R, Hernandez SR, Alves FRF, Rocas IN, Siqueira JF Jr. Regenerative endodontic therapy for management of an immature permanent tooth with recurrent post-treatment apical periodontitis: a case report. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2022;12(4):468-473.
133. Almalki MA. Regenerative endodontic procedure on an immature necrotic molar: a case report with a 5-year review. *Am J Case Rep.* 2024;25: e944179.
134. Alagl A, Bedi S, Hassan K, AlHumaid J. Use of platelet-rich plasma for regeneration in non-vital immature permanent teeth: clinical and cone-beam computed tomography evaluation. *J Int Med Res.* 2017;45(2):583-593.
135. Bezgin T, Yilmaz AD, Celik BN, Sonmez H. Efficacy of platelet-rich plasma as a scaffold in regenerative endodontic treatment. *J Endod.* 2015;41(1):36-44.
136. Ulusoy AT, Turedi I, Cimen M, Cehreli ZC. Evaluation of blood clot, platelet-rich plasma, platelet-rich fibrin, and platelet pellet as scaffolds in regenerative endodontic treatment. *J Endod.* 2019;45(5):560-566.
137. Meschi N, Hilken P, Lambrichts I, Van den Eynde K, Mavridou A, Strijbos O, et al. Regenerative endodontic procedure of immature permanent teeth with leukocyte and platelet-rich fibrin: a multicenter controlled clinical trial. *J Endod.* 2021;47(11):1729-1736.
138. Cheng J, Yang F, Li J, Hua F, He M, Song G. Treatment outcomes of regenerative endodontic procedures in traumatized immature permanent necrotic teeth: a retrospective study. *J Endod.* 2022;48(9):1129-1136.
139. International Committee of Medical Journal Editors. Recommendations for the conduct, reporting, editing, and publication of scholarly work in medical journals. Vancouver: International Committee of Medical Journal Editors; 2024.
140. Tong HJ, Rajan S, Bhujel N, Kang J, Duggal M, Nazzal H. Regenerative endodontic therapy in the management of nonvital immature permanent teeth: a

- systematic review: outcome evaluation and meta-analysis. *J Endod.* 2017;43(9):1453-1464.
141. Nicoloso GF, Goldenfum GM, Pizzol TDS, Scarparo RK, Montagner F, Rodrigues JA, et al. Pulp revascularization or apexification for the treatment of immature necrotic permanent teeth: systematic review and meta-analysis. *J Clin Pediatr Dent.* 2019;43(5):305-313.
142. Wang X, Thibodeau B, Trope M, Lin LM, Huang GTJ. Histological characterization of regenerated tissues in canal space after the revitalization/revascularization procedure of immature dog teeth with apical periodontitis. *J Endod.* 2010;36(1):56-63.
143. Simon SR, Tomson PL, Berdal A. Regenerative endodontics: regeneration or repair? *J Endod.* 2014;40(4 Suppl): S70-S75.
144. Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, Filippi A, Attin T, Krastl G. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study. *Int Endod J.* 2012;45(10):942-949.
145. Ricucci D, Siqueira JF Jr. *Endodontology: An Integrated Biological and Clinical View.* London: Quintessence Publishing; 2013.

ANEXOS

En el presente estudio, al tratarse de una revisión de la literatura, no se incluyen anexos relacionados con consentimiento informado, permisos institucionales ni instrumentos de recolección de datos aplicados a pacientes, ya que no se llevó a cabo trabajo de campo ni intervención directa.

El desarrollo de la investigación se basó únicamente en la consulta, análisis e integración de información proveniente de artículos científicos previamente publicados, por lo que no fue necesario generar documentación adicional de tipo administrativo o clínico.

Por lo anterior, no se cuenta con anexos específicos más allá de la información ya integrada en el cuerpo del trabajo.