

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Odontología

ACTUALIZACIÓN EN TERAPEÚTICA EN LOS DIENTES PERMANENTES JÓVENES CON NECROSIS PULPAR

Madrid, curso académico 2025/2026

RESUMEN

La necrosis pulpar en dientes permanentes jóvenes representa un desafío clínico debido a la interrupción del desarrollo radicular, lo que da lugar a ápices abiertos y paredes dentinarias delgadas que comprometen la resistencia del diente. En este contexto, las terapias endodónticas regenerativas han surgido como una alternativa a la apexificación tradicional.

Objetivos: Revisar las opciones terapéuticas disponibles para el tratamiento de los dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar y destacar los avances en terapias regenerativas.

Material y métodos: Se realizó una revisión sistematizada de la literatura mediante una búsqueda estructurada en la base de datos PubMed/MEDLINE, accediendo a algunos artículos a través de los recursos de la Biblioteca CRAI de la universidad, aplicando criterios de inclusión y exclusión previamente definidos.

Resultados: Se analizaron 15 estudios que incluyeron un total de 593 dientes. Los procedimientos regenerativos mostraron altas tasas de éxito clínico, con resolución de la sintomatología y cicatrización periapical. No se observaron diferencias significativas entre los distintos protocolos de medicación intracanal, siendo el hidróxido de calcio y las pastas antibióticas los más utilizados. El coágulo sanguíneo fue el andamio biológico más empleado, con resultados comparables a otros biomateriales. En algunos casos se observó continuación del desarrollo radicular, incluyendo aumento de la longitud radicular y engrosamiento de las paredes dentinarias.

Conclusiones: Las terapias regenerativas se posicionan como una alternativa terapéutica prometedora, con potencial para mejorar el pronóstico estructural del diente en comparación con la apexificación, aunque se requieren estudios con protocolos más homogéneos.

PALABRAS CLAVE

Odontología, apice abierto, apexificación, necrosis pulpar, regeneración endodóntica

ABSTRACT

Pulp necrosis in immature permanent teeth represents a clinical challenge due to the interruption of root development, leading to open apices and thin dentinal walls that compromise tooth strength. In this context, regenerative endodontic therapies have emerged as an alternative to traditional apexification. Objectives: To review the treatment options available for young permanent teeth with pulp necrosis and to highlight advances in regenerative therapies. Materials and methods: A systematized review of the literature was conducted through a structured search in the PubMed/MEDLINE database, accessing some articles through the university's CRAI Library resources, applying previously defined inclusion and exclusion criteria. Results: A total of 15 studies including 593 teeth were analyzed. Regenerative procedures showed high clinical success rates, with resolution of symptoms and periapical healing. No significant differences were observed among the different intracanal medication protocols, with calcium hydroxide and antibiotic pastes being the most commonly used. The blood clot was the most frequently used scaffold, showing comparable results to other biomaterials. In some cases, continued root development was observed, including increased root length and thickening of dentinal walls. Conclusions: Regenerative therapies are positioned as a promising therapeutic alternative, with the potential to improve the structural prognosis of the tooth compared to apexification, although further studies with more homogeneous protocols are required.

KEYWORDS

Dentistry, apexification, open apex, pulp necrosis, regenerative endodontics

ÍNDICE

1.INTRODUCCION	1
1.1. Contexto general y relevancia clínica del tejido pulpar	1
1.2. Causas de necrosis pulpar.....	1
1.3. Diferencias anatómicas según el tipo de diente.....	3
1.4. Dificultades terapéuticas en dientes inmaduros	4
1.5. Tratamientos clásicos y terapias actuales: apifixación vs regeneración pulpar	5
1.6. Protocolo clínico de las terapias endodónticas regenerativas	5
2.OBJETIVOS	7
3.MATERIAL Y MÉTODOS	8
3.1. Tipo de estudio.....	8
3.2. Pregunta de investigación	8
3.3. Bases de datos consultadas	9
3.4. Criterios de inclusión y de exclusión	9
3.5. Estrategia de búsqueda bibliográfica	10
4.RESULTADOS	12
4.1. Selección de los estudios	12
4.2. Características de los estudios incluidos.....	12
4.3. Resultados de los estudios incluidos.....	14
4.4. Síntesis de los resultados	18
5. DISCUSION	20
5.1. Eficacia clínica de los procedimientos regenerativos frente a la apexificación	20
5.2. Influencia de la medicación intracanal en los resultados.....	20
5.3. Papel del andamio biológico en los procedimientos regenerativos	21
5.4. Desarrollo radicular: principal ventaja de los procedimientos regenerativos.....	21
5.5. Factores clínicos que influyen en los resultados del tratamiento.....	21
5.6. Limitaciones de la evidencia disponible	22
6. CONCLUSIONES	24
7. SOSTENIBILIDAD.....	25
8. BIBLIOGRAFIA	26

1.INTRODUCCION

1.1. Contexto general y relevancia clínica del tejido pulpar

La pulpa dental es un tejido conjuntivo especializado y altamente vascularizado que se localiza en el interior del diente. Este tejido desempeña un papel fundamental en el desarrollo y mantenimiento de la estructura dentaria. Entre sus principales roles se encuentran la formación de dentina secundaria y reparativa, la respuesta inmunológica ante estímulos externos, la función sensorial y la nutrición del tejido mineralizado circundante. Gracias a que la pulpa tiene muchas células y vasos sanguíneos, puede reaccionar de forma activa ante daños causados al diente. Así, puede iniciar una reacción de inflamación controlada o activar mecanismos de reparación siempre que el daño no sea irreversible (1) (2).

1.2. Causas de necrosis pulpar

Cuando se produce la pérdida de vitalidad pulpar, funciones importantes como la formación de dentina, la respuesta inmunológica y la nutrición del diente se ven alteradas, lo que conduce a la denominada necrosis pulpar. Este proceso representa un desafío clínico, especialmente en dientes permanentes jóvenes que no han completado su desarrollo radicular.

Entre las causas más frecuentes se encuentran las caries no tratadas, que provocan la proliferación bacteriana y la invasión de microorganismos como *Streptococos* y *Lactobacillus*. Estos agentes patógenos son capaces de penetrar a través del esmalte y la dentina, desencadenando una respuesta inflamatoria intensa en la pulpa. La inflamación mantenida provoca una compresión de los vasos sanguíneos intrapulpares y una disminución del flujo sanguíneo, lo que conlleva un estado de isquemia y finalmente la necrosis del tejido pulpar (3).

Además de los factores locales infecciosos, existen aspectos generales patológicos que pueden aumentar la susceptibilidad del tejido pulpar a la inflamación. En este contexto, la pulpitis irreversible representa la evolución crónica de una inflamación no tratada. Factores como la malnutrición, la deficiencia de vitaminas A, C y D o de minerales como el calcio y fósforo, así como la presencia de enfermedades autoinmunes, pueden favorecer la progresión de la pulpitis hacia la necrosis debido a una menor capacidad de regeneración del tejido (3).

El traumatismo dental constituye igualmente una causa importante. Los golpes directos o los accidentes, principalmente los que provocan la luxación o avulsión del diente (común en pacientes jóvenes) pueden comprometer el aporte vascular apical, desencadenando inflamación del ligamento periodontal y necrosis pulpar secundaria. La gravedad del trauma y el tiempo transcurrido hasta el tratamiento determinan el pronóstico del diente afectado (3).

Las causas iatrogénicas también desempeñan un papel relevante. Procedimientos dentales incorrectos, como una preparación excesiva de coronas que genere calor o presión sobre la pulpa, así como la aplicación de fuerzas ortodónticas demasiado intensas, pueden ocasionar daños irreversibles en el tejido pulpar y conducir a su necrosis (3).

Desde el punto de vista sistémico, ciertas patologías como la diabetes mellitus o las enfermedades autoinmunes aumentan la susceptibilidad a la necrosis pulpar. En los pacientes diabéticos, el flujo sanguíneo hacia los vasos colaterales del tejido pulpar se ve reducido, lo que genera hipoxia tisular e isquemia. Asimismo, los trastornos inmunológicos comprometen la capacidad del organismo para controlar las infecciones bucales, facilitando la colonización bacteriana del tejido dental. Comprender las causas de la necrosis pulpar es importante, ya que pueden influir en la elección del tratamiento y en el pronóstico del diente, especialmente en aquellos que aún no han completado su desarrollo radicular (3).



Figuras 1 y 2. Radiografía y aspecto clínico de un molar permanente con necrosis pulpar. Imágenes adaptadas de: Castelo P. Caso clínico: necrosis pulpar en molar permanente. Endogal; 2021 [citado 5 dic 2025]. Disponible en: <https://endogal.es/2021/10/18/caso-clinico-pablo-castelo/>



Figura 3. Radiografía periapical de un primer molar inferior derecho (46) vital, sin signos de necrosis pulpar ni lesión periapical. Imagen tomada de Caballero Dental Clinic. Disponible en: <https://www.caballerodentalclinic.com/tipos-radiografia-dental/>

1.3. Diferencias anatómicas según el tipo de diente

La morfología radicular de los dientes permanentes presenta una notable variabilidad entre individuos y grupos dentarios, influenciada por factores anatómicos y étnicos. Sin embargo, todos los dientes comparten una estructura básica formada por una cámara pulpar, uno o varios conductos radiculares y un foramen apical que permite la comunicación neurovascular con los tejidos periapicales. Estas variaciones anatómicas, descritas principalmente mediante la clasificación de Vertucci, son especialmente relevantes para el diagnóstico y el tratamiento de las patologías pulpares, ya que determinan la complejidad del sistema de conductos y las estrategias terapéuticas en los dientes permanentes jóvenes (4).

En los dientes permanentes inmaduros, la necrosis pulpar provoca la detención del desarrollo radicular, lo que da lugar a una morfología anómala caracterizada por paredes dentinarias delgadas y ápices abiertos. Esta condición estructural debilita significativamente el diente, aumentando el riesgo de fractura radicular y dificultando el tratamiento endodóntico. Por tanto, la interrupción de la formación radicular no solo compromete la resistencia mecánica del diente, sino también su pronóstico clínico, justificando la necesidad de estrategias terapéuticas regenerativas que promuevan el engrosamiento de las paredes radiculares y la continuación del desarrollo apical (5).

1.4. Dificultades terapéuticas en dientes inmaduros

El tratamiento pulpar de los dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar supone un desafío clínico considerable debido a las particularidades anatómicas y biológicas de estos dientes. La interrupción del desarrollo radicular, provocada por la necrosis pulpar o el trauma, genera raíces cortas, ápices abiertos y paredes dentinarias delgadas que comprometen la resistencia mecánica del diente y aumentan el riesgo de fractura. Además, la pérdida de la vaina epitelial de Hertwig y la alteración del microambiente apical impiden la diferenciación de odontoblastos y la deposición normal de dentina radicular (5) (6) (7) (Figura 4).

Estas características anatómicas y biológicas dificultan el control de la longitud de trabajo, el sellado apical y la obturación del conducto, incrementando el riesgo de filtración y de fractura radicular posterior. A diferencia de los dientes maduros, en los dientes inmaduros el tejido dentinario es más delgado y menos mineralizado, lo que reduce su resistencia a las fuerzas masticatorias y a los procedimientos endodónticos. Por ello, el manejo clínico requiere una planificación cuidadosa y la selección de técnicas que no solo controlen la infección, sino que también favorezcan la continuación del desarrollo radicular y el fortalecimiento de las paredes del conducto (8).

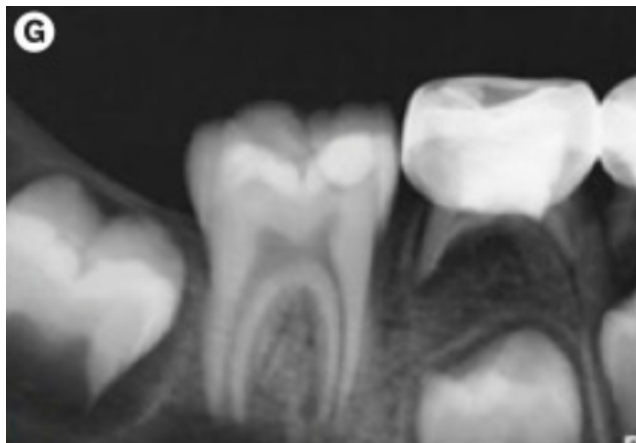


Figura 4. Radiografía periapical de un diente permanente joven con ápice inmaduro, utilizada para ilustrar la anatomía radicular en dientes no completamente desarrollados. Imagen adaptada de Alfahadi HR et al. (2022).

1.5. Tratamientos clásicos y terapias actuales: apexificación vs regeneración pulpar

El principal objetivo de estos tratamientos en dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar es controlar la infección, intentar conservar la estructura dentaria y en el mejor de los casos, lograr el cierre apical de manera “natural”. Aunque hoy en día la apexificación no sea la técnica de elección, en su momento fue el tratamiento estándar en estos casos hasta la década de 2010. Esta se sigue usando, pero de manera complementaria o de segunda elección. Gracias a materiales como el hidróxido de calcio y más recientemente el agregado de trióxido mineral (MTA), se trata de inducir el cierre apical facilitando la futura obturación del conducto. Sin embargo, este método presenta limitaciones ya que no consigue lograr la regeneración ni el refuerzo de las paredes dentinarias (6).

Gracias al avance de la odontología y del conocimiento biológico, han surgido las terapias regenerativas. Su principal objetivo es restablecer la vitalidad del complejo dentinopulpar permitiendo no solamente crear una barrera apical, sino que promover el crecimiento radicular continuo. Esto permite el engrosamiento de las paredes radiculares, el cierre apical y la recuperación de la sensibilidad pulpar, aspectos que no nos pueden aportar la apexificación. Gracias a estos beneficios biológicos, las terapias regenerativas se han posicionado como el procedimiento de elección en dientes permanentes jóvenes con ápice abierto, siempre que se cumplan los criterios de selección adecuados (6) (7).

1.6. Protocolo clínico de las terapias endodónticas regenerativas

De forma general, los procedimientos endodónticos regenerativos siguen una secuencia clínica bien definida orientada al control de la infección y a la creación de un entorno favorable para la regeneración tisular. En una primera fase, se realiza el acceso cameral bajo aislamiento absoluto, seguido de una irrigación cuidadosa del conducto radicular, habitualmente con hipoclorito de sodio a distintas concentraciones. Posteriormente, se coloca una medicación intracanal, como hidróxido de calcio o pastas antibióticas, con el objetivo de reducir la carga bacteriana (8).

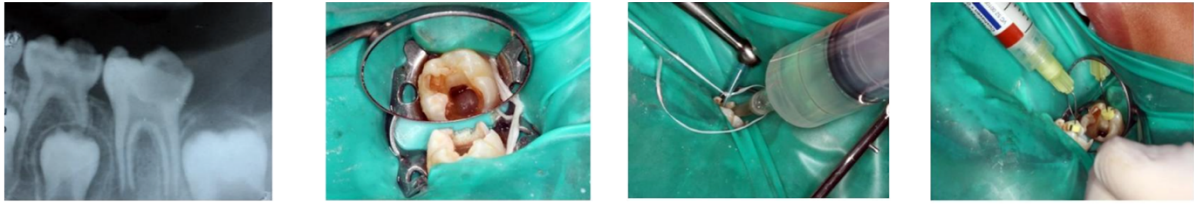


Figura 5. Secuencia clínica de la primera cita en un procedimiento endodóntico regenerativo. Radiografía inicial, acceso cameral bajo aislamiento absoluto, irrigación del conducto radicular y colocación de medicación intracanal en un diente permanente joven con necrosis pulpar. Imagen cedida por Diéguez-Pérez M. (2026).

En una segunda sesión, tras la retirada de la medicación, se induce el sangrado intracanal mediante sobreinstrumentación apical, favoreciendo la formación de un coágulo sanguíneo que actúa como biológico andamio biológico (scaffold). Sobre este se coloca un material de sellado, como MTA o biocerámicos, y finalmente se realiza la restauración coronaria. Este protocolo puede presentar variaciones en función del estudio y del clínico, lo que contribuye a la heterogeneidad observada en la literatura (8).

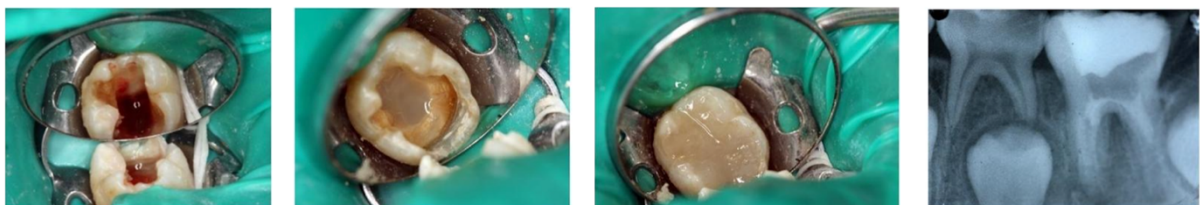


Figura 6. Secuencia clínica de la segunda cita en un procedimiento endodóntico regenerativo. Inducción del sangrado intracanal, formación del coágulo sanguíneo como scaffold biológico, colocación del material de sellado (MTA), restauración final del diente y radiografía final. Imagen cedida por Diéguez-Pérez M. (2026).

2.OBJETIVOS

Revisar las opciones terapéuticas disponibles para el tratamiento de los dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar y destacar los avances en terapias regenerativas.

3.MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Tipo de estudio

Este trabajo se ha realizado como una revisión sistematizada de la literatura, con el objetivo de reunir y analizar la evidencia publicada sobre los tratamientos disponibles para los dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar. En concreto, se revisan los procedimientos tradicionales, como la apexificación, con las terapias regenerativas más recientes, incluyendo la revascularización.

La elaboración de esta revisión se ha basado en los criterios habituales de este tipo de estudios: planteamiento de una pregunta de investigación concreta, búsqueda organizada en bases de datos, aplicación de criterios de inclusión y exclusión y revisión ordenada de los artículos encontrados.

3.2. Pregunta de investigación

Con el objetivo de delimitar la revisión, la pregunta se formuló según el modelo PICO:

- P (Población): Dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar y ápice inmaduro.
- I (Intervención): Terapias regenerativas endodónticas
- C (Comparación): Apexificación con hidróxido de calcio o con MTA/Biodentine.
- O (Outcome): Continuación del desarrollo radicular, engrosamiento de paredes dentinarias, cierre apical, recuperación de sensibilidad y pronóstico clínico.

Pregunta PICO:

En dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar, ¿las terapias regenerativas endodónticas ofrecen mejores resultados clínicos y estructurales que la apexificación?

3.3. Bases de datos consultadas

La búsqueda bibliográfica se realizó principalmente en PubMed/MEDLINE, por tratarse de una de las bases de datos biomédicas más utilizadas y que indexa un amplio número de publicaciones científicas en el ámbito de la endodoncia y las terapias regenerativas. Como complemento, se utilizó la Biblioteca CRAI de la Universidad Europea. El acceso a los artículos se llevó a cabo gracias al acceso institucional proporcionado por la Universidad Europea, lo que permitió consultar distintos recursos y obtener los estudios necesarios. Además, se revisaron las referencias de los artículos seleccionados, lo que facilitó la identificación de otros trabajos relevantes para el desarrollo del trabajo

3.4. Criterios de inclusión y de exclusión

CRITERIOS DE INCLUSION	CRITERIOS DE EXCLUSION
Artículos publicados entre 2016 y 2026	Artículos anteriores a 2016
Estudios realizados en humanos con dientes permanentes inmaduros y necrosis pulpar	Estudios en animales o in vitro
Ensayos clínicos	Estudios que no sean ensayos clínicos
Estudios prospectivos o retrospectivos	Estudios sin diseño prospectivo o retrospectivo, o con información que no corresponde con el tema de estudio
Series de casos (más de un caso)	Un solo caso clínico
Revisiones sistematizadas	Revisiones sin metodología clara

Tabla 1. Criterios selección en la búsqueda de artículos

3.5. Estrategia de búsqueda bibliográfica

Se realizó una búsqueda bibliográfica estructurada para identificar estudios clínicos relacionados con las terapias endodónticas regenerativas en dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar.

Para la búsqueda se emplearon combinaciones de palabras clave directamente relacionadas con el tema del trabajo, entre ellas: “regenerative endodontic procedure”, “revascularization”, “revitalization”, “pulp necrosis”, “immature permanent teeth” y “open apex”. Estas se combinaron mediante los operadores booleanos AND y OR con el fin de optimizar la sensibilidad y especificidad de la estrategia de búsqueda.

La ecuación principal utilizada fue la siguiente:

(“regenerative endodontic procedure*” OR revasculari* OR revitali* OR “regenerative endodontic*” OR “regenerative endodontics”)

AND

(“immature permanent tooth” OR “immature permanent teeth” OR “open apex” OR apexogenes*)

AND

(“pulp necrosis” OR “necrotic pulp” OR “apical periodontitis”)

AND

(clinic* OR trial OR randomi* OR prospective OR retrospective OR cohort)

NOT

(review OR “systematic review” OR meta-analysis OR in-vitro OR “in vitro”).

La selección de los artículos se llevó a cabo mediante un proceso estructurado en tres fases. En una primera etapa, se realizó un cribado inicial a partir del título y el resumen de los estudios identificados. Posteriormente, se procedió a la lectura completa de aquellos trabajos considerados potencialmente relevantes. Finalmente, se seleccionaron los estudios que cumplían de forma estricta los criterios de inclusión previamente establecidos. El proceso global de búsqueda y selección se representa en el diagrama de flujo PRISMA (Figura 7).

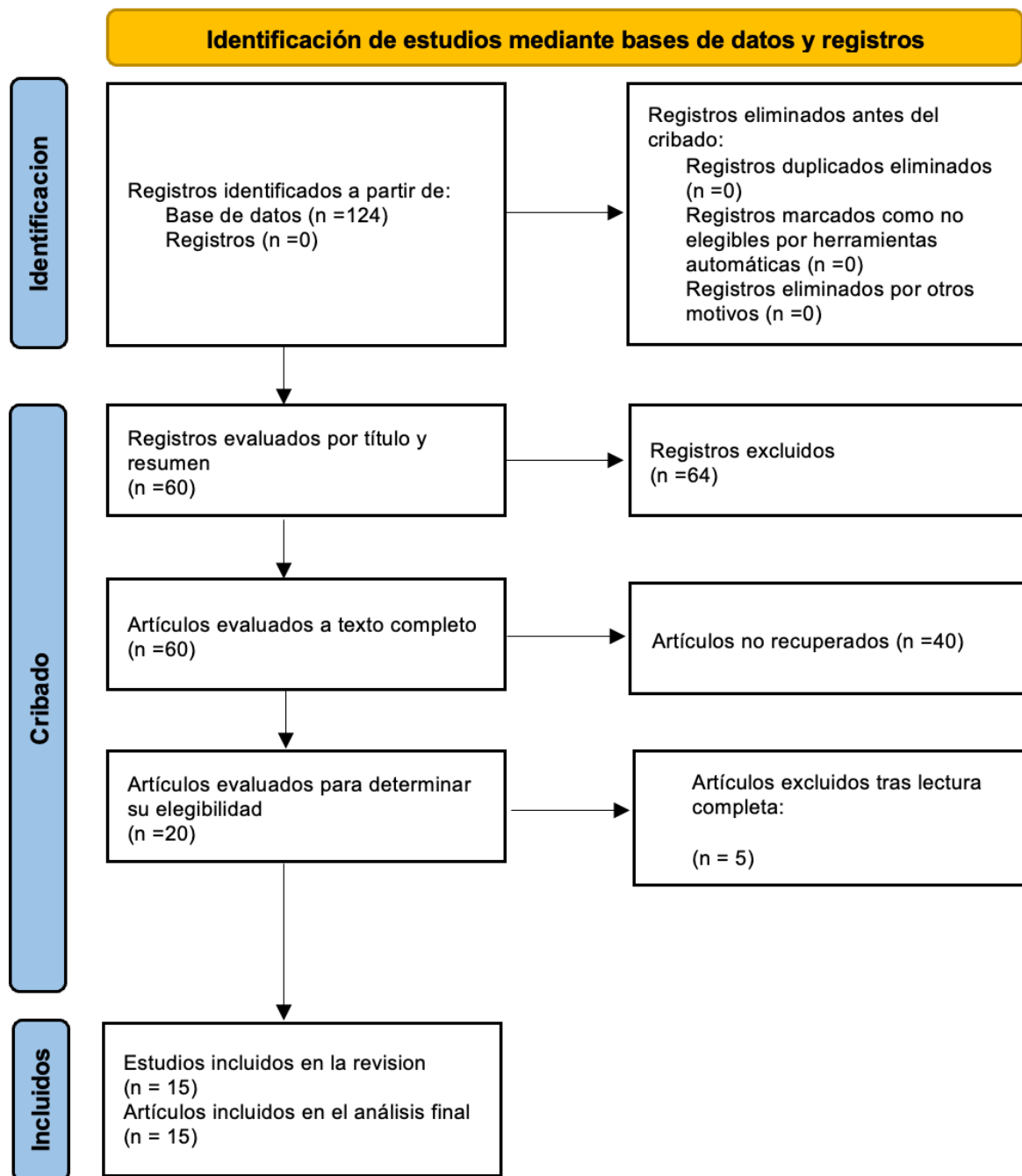


Figura 7. Diagrama de flujo PRISMA

4.RESULTADOS

4.1. Selección de los estudios

Tras la revisión detallada de los textos completos, se incluyeron un total de 15 estudios en el análisis cualitativo de la presente revisión. Los principales motivos de exclusión fueron la falta de adecuación al diseño del estudio (estudios in vitro o en animales), la ausencia de población diana (dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar) y la insuficiencia de información relevante para los objetivos del trabajo.

4.2. Características de los estudios incluidos

En cuanto al diseño de los estudios incluidos, se identificaron ensayos clínicos aleatorizados, estudios prospectivos y estudios retrospectivos. Los ensayos clínicos se centraron principalmente en la comparación de diferentes tipos de medicación intracanal o de distintos tipos de scaffold empleados durante los procedimientos regenerativos, mientras que los estudios retrospectivos analizaron los resultados clínicos a medio y largo plazo, así como los factores que pueden influir en el pronóstico del tratamiento (15) (22).

El número de dientes incluidos varió entre los estudios, con muestras que oscilaron entre 16 dientes en estudios retrospectivos y hasta 88 dientes en ensayos clínicos aleatorizados, alcanzando un total de 593 dientes analizados en el conjunto de los estudios. Esta variabilidad en el tamaño muestral debe tenerse en cuenta al interpretar los resultados, ya que los estudios con muestras más reducidas presentan una menor potencia estadística (10) (19).

En relación con las características clínicas, la mayoría de los dientes incluidos correspondían a dientes permanentes jóvenes con ápice abierto y necrosis pulpar, frecuentemente asociados a traumatismos en el caso de incisivos, o a procesos infecciosos en dientes posteriores. Algunos estudios incluyeron tanto incisivos como molares, lo que introduce variabilidad debido a las diferencias anatómicas entre ambos tipos dentarios (9) (10) (11).

El periodo de seguimiento fue variable entre los estudios, con un mínimo de 12 meses en varios ensayos clínicos y un máximo de hasta 48 meses en estudios prospectivos con análisis tridimensional

mediante CBCT. Esta variabilidad en el tiempo de seguimiento puede influir en la evaluación del desarrollo radicular, ya que los cambios estructurales requieren periodos más prolongados para ser observados (14) (22).

Las variables más frecuentemente evaluadas fueron el éxito clínico (definido como la ausencia de síntomas), la cicatrización periapical, así como los cambios estructurales radiculares, incluyendo el aumento de la longitud radicular, el engrosamiento de las paredes dentinarias y el cierre apical (16) (17).

En relación con la planificación estadística de los estudios incluidos, únicamente una parte de ellos reportó de manera explícita la realización de un cálculo previo del tamaño muestral o de la potencia estadística, aspecto clave para garantizar la validez de los resultados. Entre los trabajos que sí incorporaron este análisis se encuentran los de Koyuncuoglu y Aren (2025), Ulusoy et al. (2019), Pandey et al. (2025), Mittal et al. (2024) y Meschi et al. (2021), lo que aporta mayor solidez metodológica a sus conclusiones. Sin embargo, en el resto de los estudios analizados, especialmente aquellos de diseño retrospectivo, esta información no fue descrita de forma clara o directamente no se mencionó, lo que supone una limitación relevante. Este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de interpretar la consistencia de los resultados obtenidos, así como la capacidad real de los estudios para detectar diferencias estadísticamente significativas entre los distintos protocolos terapéuticos evaluados (12) (13) (14) (19) (21).

4.3. Resultados de los estudios incluidos

Los resultados más relevantes de los estudios incluidos se presentan en las Tablas 2-5.

Autor (año)	Diseño del estudio	Tamaño muestral	Variables evaluadas
Wikström et al., 2025	Ensayo clínico aleatorizado	41 dientes inmaduros traumatizados	Carga bacteriana total, Carga de Actinomyces, Presencia/carga de E. faecalis, Éxito clínico y radiográfico (síntomas, curación apical, desarrollo radicular)
Pereira et al., 2020	Retrospectivo	16 dientes inmaduros traumatizados	Éxito clínico, longitud radicular, grosor radicular, diámetro apical
Caleza-Jiménez et al. (2022)	retrospectivo comparativo	18 dientes inmaduros necróticos	Longitud radicular (%) Grosor dentinario (%) Curación periapical (PAI)
Koyuncuoglu & Aren (2025)	prospectivo comparativo	41 dientes (24 REP / 17 MTA)	Longitud radicular Grosor dentinario Ancho del ápice Espacio pulpar Curación periapical Signos clínicos y vitalidad pulpar
Meschi et al. (2021)	Ensayo clínico multicéntrico controlado (no aleatorizado)	29 dientes incluidos / 23 analizados	Curación ósea periapical (radiográfica y CBCT) Desarrollo radicular (volumen, grosor dentinario, longitud) Área apical Análisis volumétrico tridimensional
Pandey et al. (2025)	Ensayo clínico aleatorizado	28 dientes	Dolor (VAS), curación periapical (CBCT), longitud radicular, grosor dentinario, ancho apical, biomarcadores (VEGF, TGF-β, MMP-8, PDGF-BB, DSPP)
Silujjai & Linsuwanont (2017)	Estudio retrospectivo clínico	46 dientes (29 apexificación con MTA / 17 revascularización)	Éxito clínico, retención funcional, curación periapical, cambio en longitud radicular y grosor dentinario

Tabla 2. Relación de autores y aspectos metodológicos.

Autor (año)	Diseño del estudio	Tamaño muestral	Variables evaluadas
Al-Qudah et al. (2023)	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	50 dientes inmaduros necróticos	Supervivencia y éxito clínico, resolución de lesión periapical (PAI), aumento de longitud radicular, aumento de grosor dentinario, cierre apical, calcificación intracanal
Botero et al. (2017)	Ensayo clínico aleatorizado	28 dientes	Cicatrización periapical, tasa de éxito clínico, estadio de desarrollo radicular (Nolla), tipo de cicatrización apical
Ulusoy et al., 2019	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	88 dientes inmaduros necróticos	Éxito clínico, cierre apical, aumento longitud radicular, engrosamiento paredes dentinarias, RRA, RCA, respuesta a vitalidad
Žižka et al., 2021	Estudio retrospectivo de cohorte	18 dientes permanentes inmaduros necróticos	Éxito clínico, longitud radicular (RRL), grosor radicular (RRW), área radicular (RRA), índice periapical (PAI), discoloración
Mittal N et al. (2024)	Ensayo clínico aleatorizado	56 dientes inmaduros necróticos	Cierre apical, aumento de longitud radicular, aumento del grosor dentinario radicular, curación periapical
Shetty H et al. (2021)	Estudio clínico prospectivo	50 dientes inmaduros con necrosis pulpar y periodontitis apical	Longitud radicular, diámetro del espacio pulpar, tamaño de lesión periapical (CBCT), desarrollo radicular
Jun JH et al. (2021)	Estudio retrospectivo	33 raíces	Reducción del diámetro apical, aumento de longitud radicular, aumento del área radicular (RRA y mRRA), reducción de lesión periapical, estadio de desarrollo radicular
Chrepa et al. (2020)	Estudio retrospectivo	51 dientes inmaduros necróticos	Éxito clínico, supervivencia del diente, desarrollo radicular (RRA), respuesta a vitalidad, decoloración

Tabla 3. Relación de autores y aspectos metodológicos.

Autor (año)	Tipo de scaffold	Periodo de seguimiento	Resultado principal
Wikström et al., 2025	Coágulo sanguíneo inducido + scaffold de colágeno + material biocerámico coronal	Media 3,98 años (rango 1,19–7,69 años)	Ambos medicamentos redujeron significativamente la carga bacteriana. Mayores reducciones se asociaron con éxito del RET. La presencia de <i>E. faecalis</i> tras la medicación intracanal se asoció significativamente con fracaso (OR≈9,7). No hubo diferencias significativas entre CH y CHD en eficacia desinfectante.
Pereira et al., 2020	Coágulo sanguíneo	9–36 meses	93,75% de éxito clínico; aumento moderado de longitud y grosor radicular; reducción significativa del diámetro apical
Caleza-Jiménez et al. (2022)	Coágulo sanguíneo (inducido) + MTA (en grupo regenerativo)	6–66 meses	La revascularización mostró mayor aumento de longitud y grosor radicular, sin diferencias significativas en la curación periapical respecto a la apexificación.
Koyuncuoglu & Aren (2025)	Coágulo sanguíneo inducido + MTA (grupo REP)	24 meses (con 2 casos reevaluados a 11 años)	Ambos tratamientos mostraron buena curación periapical. La REP produjo estrechamiento apical significativo y recuperación de vitalidad en el 83% de los casos, aunque con cambios estéticos por discromía coronaria.
Meschi et al. (2021)	L-PRF (leukocyte–platelet-rich fibrin) vs coágulo sanguíneo inducido	Hasta 36 meses (con CBCT a los 2 y 3 años)	La REP con L-PRF fue clínicamente viable, pero no mostró ventajas claras frente al coágulo sanguíneo en el desarrollo radicular. El grupo control presentó mejores resultados volumétricos en algunos parámetros de desarrollo radicular.
Pandey et al. (2025)	Coágulo sanguíneo inducido (en ambos grupos)	12 meses	La LLLT mostró resultados clínicos y radiográficos comparables a la REP convencional; solo el biomarcador DSPP fue significativamente mayor en el grupo láser, sin diferencias significativas en desarrollo radicular.
Silujjai & Linsuwanont (2017)	Revascularización: hidróxido de calcio o triple antibiotic paste Apexificación: hidróxido de calcio	12–96 meses	Ambos tratamientos mostraron tasas de éxito similares; la revascularización presentó un aumento significativamente mayor del grosor radicular, sin diferencias significativas en longitud radicular.

Tabla 4. Relación de autores y resultados de las investigaciones.

Autor (año)	Tipo de scaffold	Periodo de seguimiento	Resultado principal
Al-Qudah et al. (2023)	Coágulo sanguíneo inducido	36 meses	Ambos grupos mostraron tasas de supervivencia del 100% y éxito del 81,6% a los 36 meses, sin diferencias significativas entre hidróxido de calcio y TAP modificada. No hubo diferencias significativas en la maduración radicular entre grupos.
Botero et al. (2017)	Coágulo sanguíneo inducido	12 meses	Tasa de éxito del 71% en el grupo con inducción diferida frente al 33% en el grupo con inducción inmediata, sin diferencias estadísticamente significativas
Ulusoy et al., 2019	PRP vs PRF vs Platelet Pellet (PP) vs coágulo sanguíneo (BC)	10–49 meses	Todos los grupos mostraron alta tasa de éxito sin diferencias significativas; el coágulo presentó mayor tendencia a obliteración del conducto en comparación con los concentrados plaquetarios.
Žižka et al., 2021	Coágulo sanguíneo (inducción de sangrado)	24 meses	Mayor éxito clínico con NaOCl 5%; mayor aumento de área radicular con NaOCl 1%; menor discoloración con protocolo modificado (arenado).
Mittal N et al. (2024)	4 grupos: PRF, hidrogel fibrina con doble antibiótico, hidrogel fibrina con quitosano, hidrogel fibrina con quitosano + doble antibiótico	12 meses	El hidrogel de fibrina con quitosano cargado con doble antibiótico mostró los mejores resultados en cierre apical, aumento de longitud radicular y grosor dentinario; resultados superiores a PRF ($p < 0.05$)
Shetty H et al. (2021)	Coágulo sanguíneo inducido + tapón de colágeno	18–48 meses	Éxito clínico del 94.6%; aumento significativo de longitud radicular y disminución del diámetro del canal y de la lesión periapical ($p < 0.05$)
Jun JH et al. (2021)	Coágulo sanguíneo inducido + MTA	24 meses	Comparación posición del tapón de MTA (coronal vs apical) tras REP. No hubo diferencias significativas en longitud radicular ni cierre apical; el MTA colocado más apical mostró mayor aumento de mRRA (mayor formación de tejido duro radicular).
Chrepa et al. (2020)	Coágulo sanguíneo + biomaterial (MTA o Biodentine)	1–8.2 años	84.3% éxito clínico, 92% supervivencia y 91.4% desarrollo radicular. DAP y NaOCl 6% asociados con mayor desarrollo radicular; Ca(OH)_2 y NaOCl 1.5% asociados con mayor riesgo de fracaso.

Tabla 5. Relación de autores y resultados de las investigaciones.

4.4. Síntesis de los resultados

En relación con la medicación intracanal, los materiales más empleados fueron el hidróxido de calcio y las pastas antibióticas, especialmente la triple pasta antibiótica (ciprofloxacino, metronidazol y minociclina). En los estudios que compararon ambos protocolos, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en términos de éxito clínico o resolución de lesiones periapicales, con tasas de éxito clínico alrededor del 80–85% y tasas de supervivencia de hasta el 100% a 36 meses (16).

Respecto al andamio biológico, el método más utilizado fue la inducción de un coágulo sanguíneo intracanal. Los estudios comparativos de Ulusoy et al., (2019) y Meschi et al., (2021) evaluaron biomateriales como PRF, PRP o L-PRF, mostrando resultados clínicos similares al coágulo sanguíneo, sin diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los parámetros analizados. No obstante, algunos estudios reportaron variaciones en parámetros específicos del desarrollo radicular dependiendo del material empleado (13) (19).

En términos de resultados clínicos, los procedimientos regenerativos mostraron altas tasas de éxito, generalmente comprendidas entre el 80% y el 95%, con resolución de la sintomatología y cicatrización de las lesiones periapicales en la mayoría de los casos, tal y como describen Chrepa et al., (2020) y Shetty et al., (2021) (15) (22).

En cuanto al desarrollo radicular, se observaron aumentos en la longitud radicular, el grosor dentinario y el cierre apical en distintos estudios. Sin embargo, estos cambios no se produjeron de forma uniforme en todos los casos, mostrando una elevada variabilidad entre los estudios (10) (17).

Los estudios que compararon procedimientos regenerativos con apexificación mostraron que ambos tratamientos son efectivos en la resolución de la infección y la cicatrización periapical. Sin embargo, los procedimientos regenerativos presentaron mayor potencial para favorecer el desarrollo radicular, especialmente en términos de aumento del grosor dentinario (11) (12).

Finalmente, la variabilidad en los protocolos clínicos, el tamaño muestral y los tiempos de seguimiento entre los estudios incluidos limita la comparación directa de los resultados y debe tenerse en cuenta en la interpretación global de la evidencia.

Además, debe tenerse en cuenta que las diferencias observadas entre los estudios pueden estar influenciadas por la variabilidad en los criterios de evaluación empleados, así como por las distintas metodologías de análisis radiográfico utilizadas. En algunos casos, la valoración del desarrollo radicular se realizó mediante técnicas bidimensionales, mientras que en otros se emplearon métodos

tridimensionales como la CBCT, lo que puede dar lugar a resultados no completamente comparables entre sí. Esta heterogeneidad metodológica puede contribuir a la variabilidad de los hallazgos y debe considerarse cuidadosamente al interpretar los resultados globales de los estudios incluidos.

5. DISCUSION

5.1. Eficacia clínica de los procedimientos regenerativos frente a la apexificación

En los últimos años, los procedimientos endodónticos regenerativos (REP) han adquirido un papel relevante como alternativa terapéutica en el tratamiento de dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar. A diferencia de la apexificación, cuyo objetivo principal es la formación de una barrera apical, los REP buscan no solo la resolución de la infección, sino también la recuperación funcional del complejo dentinopulpar y la continuación del desarrollo radicular. En este sentido, los resultados obtenidos en la presente revisión confirman que estos procedimientos presentan altas tasas de éxito clínico, lo que apoya su uso como opción terapéutica en este tipo de dientes.

Chrepa et al., 2020; Shetty et al., 2021; Al-Qudah et al., (2023) describen que uno de los hallazgos más consistentes entre los estudios analizados es la elevada tasa de éxito clínico de los REP, generalmente situada entre el 80% y el 95%, con desaparición de la sintomatología y cicatrización periapical en la mayoría de los casos. En el estudio de Chrepa et al. (2020), por ejemplo, se reportó una tasa de éxito del 84,3% y una supervivencia del 92%, mientras que Shetty et al. (2021) observaron un 94,6% de éxito clínico tras seguimientos de hasta 48 meses. Estos datos refuerzan la importancia del control de la infección como elemento clave del tratamiento. En esta línea, Wikström et al. (2025) demostraron que los casos con mayor reducción de la carga bacteriana presentaban mejores resultados clínicos, destacando además la asociación entre la persistencia de *Enterococcus faecalis* y los fracasos del tratamiento (9) (15) (16) (22).

5.2. Influencia de la medicación intracanal en los resultados

Al-Qudah et al., (2023) señalan que, en relación con la medicación intracanal, los estudios incluidos no evidencian diferencias significativas entre el uso de hidróxido de calcio y las pastas antibióticas en términos de éxito clínico o resolución de la lesión periapical. De forma similar, Wikström et al. (2025) no encontraron diferencias significativas en la eficacia antimicrobiana entre el hidróxido de calcio y la clorhexidina al 2%, lo que sugiere que el factor determinante no es tanto el tipo de medicación empleada, sino la capacidad global del protocolo para reducir la carga bacteriana intracanal. Estos resultados son consistentes con los observados por Pereira et al. (2020), quienes tampoco encontraron diferencias relevantes en los resultados clínicos empleando distintas estrategias de medicación intracanal (9) (10) (16).

5.3. Papel del andamio biológico en los procedimientos regenerativos

Otro aspecto ampliamente estudiado es el tipo de scaffold utilizado durante los procedimientos regenerativos. En la mayoría de los casos, el coágulo sanguíneo inducido fue el método más empleado. El ensayo clínico de Ulusoy et al. (2019), que comparó coágulo sanguíneo, PRP, PRF y platelet pellet, no encontró diferencias significativas en los resultados clínicos entre los grupos, aunque el coágulo mostró mayor aumento del área radicular en algunas mediciones. De forma similar, Meschi et al. (2021) observaron que el uso de L-PRF no mejoraba significativamente el desarrollo radicular en comparación con el coágulo sanguíneo, e incluso el grupo control presentó mejores resultados en algunos parámetros volumétricos analizados mediante CBCT (13) (19).

5.4. Desarrollo radicular: principal ventaja de los procedimientos regenerativos

En cuanto al desarrollo radicular, los estudios incluidos muestran que los REP pueden favorecer el aumento de la longitud radicular, el engrosamiento de las paredes dentinarias y el cierre apical. Sin embargo, estos cambios no se observan de forma homogénea en todos los casos. Silujjai y Linsuwanont (2017) describieron aumentos significativos en el grosor dentinario en los dientes tratados mediante revascularización en comparación con la apexificación, aunque sin diferencias significativas en la longitud radicular. Por su parte, Pereira et al. (2020) observaron incrementos moderados en la longitud y el grosor radicular, pero destacaron la variabilidad de estos cambios entre los casos analizados (10) (17).

La comparación entre los procedimientos regenerativos y la apexificación muestra que ambos tratamientos son eficaces en la resolución de la infección y la cicatrización periapical. Sin embargo, los REP presentan una ventaja potencial en términos de desarrollo radicular. Caleza-Jiménez et al. (2022) observaron un mayor aumento de la longitud y del grosor radicular en los dientes tratados mediante revascularización, mientras que Silujjai y Linsuwanont (2017) confirmaron un mayor engrosamiento dentinario en comparación con la apexificación (11) (17).

5.5. Factores clínicos que influyen en los resultados del tratamiento

Algunos estudios han analizado la influencia de variables específicas del procedimiento. Žižka et al. (2021) observaron que el uso de hipoclorito de sodio al 5% se asociaba a mayor éxito clínico, mientras

que concentraciones más bajas se relacionaban con un mayor desarrollo radicular. Asimismo, Chrepa et al. (2020) identificaron la concentración de NaOCl, la etiología del caso y el tipo de medicación intracanal como factores asociados a los resultados clínicos y estructurales. Por otro lado, Botero et al. (2017) reportaron tasas de éxito clínico del 71% en el grupo con inducción diferida del sangrado frente al 33% en el grupo de inducción inmediata, aunque sin diferencias estadísticamente significativas (15) (20) (18).

Otro aspecto relevante es la influencia del tipo de diente tratado. Los incisivos permanentes jóvenes, frecuentemente afectados por traumatismos, presentan una anatomía más simple que facilita el procedimiento regenerativo. En contraste, los molares presentan una anatomía más compleja, lo que puede dificultar la desinfección y la inducción del sangrado intracanal. Este aspecto fue señalado por Caleza-Jiménez et al. (2022), quienes observaron diferencias en la evolución radiográfica en función del tipo dentario (11).

Asimismo, factores técnicos como la posición del tapón de MTA pueden influir en los resultados. Jun et al. (2021) observaron que una colocación más apical del MTA se asociaba con un mayor aumento del área radicular, lo que sugiere una posible influencia de este factor en la formación de tejido duro (23).

5.6. Limitaciones de la evidencia disponible

A pesar de los resultados favorables observados, la evidencia disponible presenta una importante heterogeneidad metodológica. Los estudios incluidos difieren en el diseño, el tamaño muestral, los protocolos clínicos y los periodos de seguimiento, que oscilan entre 12 y 48 meses, lo que dificulta la comparación directa de los resultados.

En conjunto, los resultados de esta revisión sugieren que los procedimientos endodónticos regenerativos constituyen una alternativa terapéutica eficaz en dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar. Sin embargo, la variabilidad en el desarrollo radicular y la falta de protocolos estandarizados ponen de manifiesto la necesidad de realizar estudios clínicos con mayor tamaño muestral y seguimiento a largo plazo que permitan mejorar la predictibilidad de estos tratamientos.

En este sentido, es importante interpretar estos hallazgos con cautela, ya que las limitaciones metodológicas descritas pueden influir en la solidez de los resultados. La falta de homogeneidad en los protocolos clínicos, especialmente en aspectos como la concentración de los irrigantes, el tipo de

medicación intracanal o el material de sellado utilizado, dificulta la comparación entre estudios y la extrapolación de los resultados a la práctica clínica. Asimismo, el hecho de que no todos los estudios hayan reportado de forma explícita un cálculo previo del tamaño muestral o de la potencia estadística puede limitar la capacidad para detectar diferencias significativas entre los distintos tratamientos evaluados.

6. CONCLUSIONES

1- Las terapias endodónticas regenerativas presentan altas tasas de éxito clínico en dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar, evidenciadas por la resolución de la sintomatología y la cicatrización periapical. No se observaron diferencias clínicamente significativas entre los distintos protocolos de medicación intracanal, especialmente entre el hidróxido de calcio y las pastas antibióticas, en términos de éxito clínico. El coágulo sanguíneo continúa siendo el scaffold más utilizado en la práctica clínica, mostrando resultados comparables a otros biomateriales como PRF o PRP. La evidencia disponible presenta una notable heterogeneidad en cuanto a los protocolos clínicos, el tamaño muestral y los periodos de seguimiento, lo que limita la comparación directa entre estudios. Se requieren estudios clínicos con mayor tamaño muestral y protocolos estandarizados que permitan establecer con mayor precisión la eficacia y predictibilidad de las terapias regenerativas. Desde el punto de vista clínico, las terapias regenerativas pueden considerarse actualmente una opción de primera elección en dientes permanentes jóvenes con necrosis pulpar y ápice abierto, siempre que se cumplan los criterios de selección adecuados.

2- A diferencia de la apexificación, los procedimientos regenerativos permiten, en determinados casos, la continuación del desarrollo radicular, incluyendo el aumento de la longitud radicular, el engrosamiento de las paredes dentinarias y el cierre apical. Estos cambios estructurales contribuyen a mejorar la resistencia mecánica del diente y, por tanto, su pronóstico a largo plazo, reduciendo el riesgo de fractura radicular. No obstante, estos efectos no se observan de manera uniforme en todos los casos, existiendo una notable variabilidad en función de factores como el protocolo clínico empleado, el tipo de medicación intracanal o el scaffold utilizado. A pesar de esta variabilidad, la evidencia sugiere que los procedimientos regenerativos ofrecen ventajas biológicas relevantes frente a la apexificación, al favorecer no solo la resolución de la infección, sino también la recuperación parcial de la funcionalidad del complejo dentinopulpar.

7. SOSTENIBILIDAD

Las terapias endodónticas regenerativas no solo aportan beneficios clínicos, sino que también presentan implicaciones relevantes desde el punto de vista de la sostenibilidad. En primer lugar, a nivel económico, estos procedimientos pueden contribuir a la conservación del diente a largo plazo, reduciendo la necesidad de tratamientos más complejos y costosos como prótesis o implantes. Esto supone un ahorro tanto para el sistema sanitario como para el paciente.

Desde una perspectiva ambiental, la preservación del diente natural evita la utilización de materiales adicionales y la generación de residuos asociados a tratamientos sustitutivos. Además, muchos de los procedimientos regenerativos se basan en recursos biológicos del propio paciente, como el coágulo sanguíneo, lo que reduce la dependencia de biomateriales externos y favorece un enfoque más biocompatible.

Por último, en el ámbito social, estas terapias permiten mantener la función y la estética dental en pacientes jóvenes, lo que repercute positivamente en su calidad de vida. En conjunto, las terapias regenerativas se alinean con un modelo de odontología más conservador, eficiente y sostenible, centrado en la preservación de los tejidos naturales.

En este sentido, este tipo de enfoque puede vincularse con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente aquellos relacionados con la salud y el bienestar, así como con un uso más responsable de los recursos sanitarios. La incorporación progresiva de estrategias clínicas orientadas a la conservación del diente natural y a la reducción del uso de materiales innecesarios puede contribuir a avanzar hacia una práctica odontológica más sostenible en el tiempo.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Quispe-Salcedo A, Ohshima H. The Role of Dendritic Cells during Physiological and Pathological Dentinogenesis. *J Clin Med*. 29 juill 2021;10(15):3348. doi:10.3390/jcm10153348 PubMed PMID: 34362130; PubMed Central PMCID: PMC8348392.
2. Wang C, Liu X, Zhou J, Zhang Q. The Role of Sensory Nerves in Dental Pulp Homeostasis: Histological Changes and Cellular Consequences after Sensory Denervation. *Int J Mol Sci*. 17 janv 2024;25(2):1126. doi:10.3390/ijms25021126 PubMed PMID: 38256202; PubMed Central PMCID: PMC10815945.
3. Abdulwahab MA, Alqahtani MS, Alshammari AA, Jiffri SE, Alasim AM, Alsharidah FM, et al. Etiologies, risk factors and outcomes of dental pulp necrosis. *Int J Community Med Public Health*. 27 déc 2021;9(1):348. doi:10.18203/2394-6040.ijcmph20214793
4. Navas JM, Doranala S, Khushnud A, Sinha J, Jadhav AA, Gudapati S, et al. Evaluation of the Root Canal Morphology of Human Teeth by Cone Beam Computed Tomography and Micro-Computed Tomographic - A Systematic Review with Meta-analysis. *J Pharm Bioallied Sci*. juill 2022;14(Suppl 1):S254-9. doi:10.4103/jpbs.jpbs_714_21 PubMed PMID: 36110595; PubMed Central PMCID: PMC9469351.
5. Cui D, Yu S, Zhou X, Liu Y, Gan L, Pan Y, et al. Roles of Dental Mesenchymal Stem Cells in the Management of Immature Necrotic Permanent Teeth. *Front Cell Dev Biol*. 2021;9:666186. doi:10.3389/fcell.2021.666186 PubMed PMID: 34095133; PubMed Central PMCID: PMC8170050.
6. Murray PE. Review of guidance for the selection of regenerative endodontics, apexogenesis, apexification, pulpotomy, and other endodontic treatments for immature permanent teeth. *Int Endod J*. mars 2023;56 Suppl 2:188-99. doi:10.1111/iej.13809 PubMed PMID: 35929348.
7. Nicoloso GF, Goldenfum GM, Pizzol T da SD, Scarparo RK, Montagner F, de Almeida Rodrigues J, 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):305-13. doi:10.17796/1053-4625-43.5.1 PubMed PMID: 31560588.
8. American Association of Endodontists. Clinical considerations for a regenerative procedure. Chicago: American Association of Endodontists; 2021.

9. Wikström A, Rakhimova O, Călin P, Tsilingaridis G, Brundin M, Vestman NR. Microbial Loads in Traumatized Immature Teeth and Their Impact on the Treatment Outcomes of Regenerative Endodontic Treatment: A Randomized Clinical Trial Comparing Chlorhexidine and Calcium Hydroxide. *Dent Traumatol.* oct 2025;41(5):501-15. doi:10.1111/edt.13062 PubMed PMID: 40150951; PubMed Central PMCID: PMC12424100.

10. Pereira AC, Oliveira ML de, Cerqueira-Neto ACCL, Gomes BPFA, Ferraz CCR, Almeida JFA de, et al. Treatment outcomes of pulp revascularization in traumatized immature teeth using calcium hydroxide and 2% chlorhexidine gel as intracanal medication. *J Appl Oral Sci.* 2020;28:e20200217. doi:10.1590/1678-7757-2020-0217 PubMed PMID: 32997087; PubMed Central PMCID: PMC7518246.

11. Caleza-Jiménez C, Ribas-Pérez D, Biedma-Perea M, Solano-Mendoza B, Mendoza-Mendoza A. Radiographic differences observed following apexification vs revascularization in necrotic immature molars and incisors: a follow-up study of 18 teeth. *Eur Arch Paediatr Dent.* juin 2022;23(3):381-9. doi:10.1007/s40368-022-00692-z PubMed PMID: 35129776; PubMed Central PMCID: PMC9167200.

12. Koyuncuoglu G, Aren G. Clinical and radiographic evaluation of two different apexification protocols in traumatized immature permanent incisors. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* janv 2025;31(1):23-31. doi:10.14744/tjtes.2024.31532 PubMed PMID: 39775507; PubMed Central PMCID: PMC11843395.

13. Meschi N, EzEldeen M, Garcia AET, Lahoud P, Van Gorp G, Coucke W, et al. Regenerative Endodontic Procedure of Immature Permanent Teeth with Leukocyte and Platelet-rich Fibrin: A Multicenter Controlled Clinical Trial. *J Endod.* nov 2021;47(11):1729-50. doi:10.1016/j.joen.2021.08.003 PubMed PMID: 34400199.

14. Pandey P, Jasrasaria N, Bharti R, Yadav RK, Kumari M, Vaishnavi A, et al. Clinical, radiographic, and biomarker perspectives of low-level laser therapy during regenerative endodontic procedures in necrotic immature young teeth: a randomized clinical study. *Lasers Med Sci.* 1 déc 2025;40(1):504. doi:10.1007/s10103-025-04764-6 PubMed PMID: 41320703.

15. Chrepa V, Joon R, Austah O, Diogenes A, Hargreaves KM, Ezeldeen M, et al. Clinical Outcomes of Immature Teeth Treated with Regenerative Endodontic Procedures—A San Antonio Study. *Journal of Endodontics.* août 2020;46(8):1074-84. doi:10.1016/j.joen.2020.04.008

16. Al-Qudah A, Almomani M, Hassoneh L, Awawdeh L. Outcome of Regenerative Endodontic Procedures in Nonvital Immature Permanent Teeth Using 2 Intracanal Medications: A Prospective Randomized Clinical Study. *J Endod.* juill 2023;49(7):776-85. doi:10.1016/j.joen.2023.05.009 PubMed PMID: 37225036.

17. Silujjai J, Linsuwanont P. Treatment Outcomes of Apexification or Revascularization in Nonvital Immature Permanent Teeth: A Retrospective Study. *Journal of Endodontics.* févr 2017;43(2):238-45. doi:10.1016/j.joen.2016.10.030.

18. Botero TM, Tang X, Gardner R, Hu JCC, Boynton JR, Holland GR. Clinical Evidence for Regenerative Endodontic Procedures: Immediate versus Delayed Induction? *J Endod.* sept 2017;43(9S):S75-81. doi:10.1016/j.joen.2017.07.009 PubMed PMID: 28844307; PubMed Central PMCID: PMC7081455.

19. 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: A Prospective Randomized Trial. *J Endod.* mai 2019;45(5):560-6. doi:10.1016/j.joen.2019.02.002 PubMed PMID: 30935618.

20. Žižka R, Belák Š, Šedý J, Fačevicová K, Voborná I, Marinčák D. Clinical and Radiographic Outcomes of Immature Teeth Treated with Different Treatment Protocols of Regenerative Endodontic Procedures: A Retrospective Cohort Study. *J Clin Med.* 9 avr 2021;10(8):1600. doi:10.3390/jcm10081600 PubMed PMID: 33918937; PubMed Central PMCID: PMC8069309.

21. Mittal N, Baranwal HC, Aggarwal H, Kharat S, Samad S, Ayubi A. Comparison of double antibiotic chitosan hydrogel scaffold with platelet-rich fibrin in regeneration in immature necrotic permanent teeth - Randomized controlled trial. *J Conserv Dent Endod.* déc 2024;27(12):1251-60. doi:10.4103/JCDE.JCDE_609_24 PubMed PMID: 39959016; PubMed Central PMCID: PMC11823575.

22. Shetty H, Shetty S, Kakade A, Mali S, Shetty A, Neelakantan P. Three-dimensional qualitative and quantitative analyses of the effect of periradicular lesions on the outcome of regenerative endodontic procedures: A prospective clinical study. *Clin Oral Investig.* févr 2021;25(2):691-700. doi:10.1007/s00784-020-03583-z PubMed PMID: 32954475.

23. Jun JH, Chun KA, Kum KY, Lee W, Shon WJ, Yoo YJ, et al. Effect of mineral trioxide aggregate plug location on root development in regenerative endodontic procedure. *Odontology*. avr 2021;109(2):411-21. doi:10.1007/s10266-020-00556-2 PubMed PMID: 32980911.