

**Scaffolds in Regenerative Endodontics: An Analysis of Trends,  
Challenges, and Future Directions.**

**Andamios en Endodoncia Regenerativa: Un Análisis de las Tendencias,  
Desafíos y Futuras Direcciones.**

**Autores:**

Vallejo-Freire, Lissette Samantha  
Universidad de las Américas  
Posgradista  
Quito – Ecuador



[lissette.vallejo.freire@udla.edu.ec](mailto:lissette.vallejo.freire@udla.edu.ec)



<https://orcid.org/0009-0005-7859-0711>

Fechas de recepción: 22-DIC-2023 aceptación: 22-ENE-2024 publicación: 15-MAR-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigiar.com/>

## Resumen

Esta revisión destaca la importancia de equilibrar la ingeniería de tejidos con las demandas biológicas en la endodoncia regenerativa. Se prefiere el uso de coágulos sanguíneos y concentrados de plaquetas como andamios. La variabilidad en los resultados resalta la necesidad de enfoques personalizados. Aunque se han logrado avances notables, la falta de un andamio ideal subraya la complejidad y la necesidad de investigaciones futuras. La inclusión de estudios clínicos y metaanálisis proporciona una visión completa, pero se destaca la importancia de investigaciones más rigurosas para fortalecer la evidencia científica.

La endodoncia regenerativa busca preservar la función dental mediante la revitalización pulpar. La ingeniería de tejidos, con células mesenquimáticas, factores de crecimiento y andamios, es crucial. Estos andamios, ya sean porosos o acelulares, pueden prepararse con polímeros, materiales naturales o matriz extracelular. El diseño cuidadoso del andamiaje es crucial para la adhesión, migración y diferenciación celular.

La revisión de la literatura analiza tendencias, desafíos y avances en andamios de endodoncia regenerativa. Se realizaron búsquedas en PubMed, identificando 487 artículos, de los cuales 11 fueron revisados detalladamente.

Los resultados destacan tendencias en el uso de andamios naturales como coágulos sanguíneos y concentrados de plaquetas, así como avances con biocerámicos y polímeros sintéticos. La revisión discute investigaciones clínicas, metaanálisis y estudios prospectivos que evalúan la eficacia de diversos andamios en la regeneración dentino-pulpar.

La conclusión resalta la importancia de los coágulos sanguíneos y andamios basados en plasma sanguíneo en endodoncia regenerativa, aunque señala la necesidad de más investigaciones para consolidar estos avances prometedores en el campo.

**Palabras clave:** Cultivo celular tridimensional, endodoncia regenerativa, plasma sanguíneo

## Abstract

This review emphasizes the importance of balancing tissue engineering with biological demands in regenerative endodontics. The use of blood clots and platelet concentrates as scaffolds is preferred. Variability in results underscores the need for personalized approaches. Despite notable advancements, the lack of an ideal scaffold highlights the complexity and the necessity for future research. Including clinical studies and meta-analyses provides a comprehensive view, but rigorous investigations are crucial to strengthen scientific evidence.

Regenerative endodontics aims to preserve dental function through pulpal revitalization. Tissue engineering, involving mesenchymal cells, growth factors, and scaffolds, is crucial. These scaffolds, whether porous or acellular, can be prepared with polymers, natural materials, or extracellular matrix. Careful scaffold design is crucial for cell adhesion, migration, and differentiation.

The literature review analyzes trends, challenges, and advances in regenerative endodontic scaffolds. PubMed searches identified 487 articles, of which 11 were thoroughly reviewed. Results highlight trends in using natural scaffolds like blood clots and platelet concentrates, along with progress with bioceramics and synthetic polymers. The review discusses clinical research, meta-analyses, and prospective studies evaluating the effectiveness of various scaffolds in dentin-pulp regeneration.

The conclusion underscores the importance of blood clots and blood plasma-based scaffolds in regenerative endodontics, though it notes the need for further research to solidify these promising advancements in the field.

**Keywords:** Three-dimensional cell culture, regenerative endodontics, blood plasma.

## Introducción

El propósito central de la endodoncia regenerativa es garantizar la preservación tanto de la función como de la viabilidad de las piezas dentales, logrando este cometido mediante la restitución de la pulpa dental (Bansal & Bansal, 2011; Kim et al., 2018). En la actualidad, la aplicación de la ingeniería de tejidos ha surgido como una herramienta de vanguardia en la endodoncia regenerativa (Bindal et al., 2017; Matichescu et al., 2020; Widbiller et al., 2023). Este campo interdisciplinario de la medicina emplea los principios de la ingeniería y las ciencias de la vida para desarrollar sustitutos biológicos destinados a restablecer, mantener o mejorar la función de los órganos (Chandra et al., 2020; Mathew et al., n.d.; Sharma et al., 2019) .

La ingeniería de tejidos se sustenta en una triada esencial, compuesta por células mesenquimáticas indiferenciadas, factores de crecimiento y andamios para la regeneración de tejidos (Ahmed et al., 2020; Carriero et al., 2023; Pulyodan et al., 2020). Los andamios desempeñan un papel crucial al proporcionar una estructura tridimensional que actúa como soporte para la organización celular y la vascularización (Jazayeri et al., 2019; Wen et al., 2021; Zhao et al., 2021). Estos andamios, ya sean porosos o acelulares, pueden prepararse utilizando polímeros, materiales naturales o matriz extracelular (Donnalaja et al., 2020; Ebhodaghe, 2021; Yazdanian et al., 2021). El diseño cuidadoso de los andamios representa un paso crítico en cualquier procedimiento de ingeniería de tejidos, ya que libera de manera adecuada células y biomoléculas, crea un entorno propicio para la actividad celular y facilita la comunicación intercelular (Abdollahiyan et al., 2021; Jazayeri et al., 2019; Wang et al., 2024).

El andamiaje óptimo para la regeneración dentino-pulpar debe propiciar la adhesión, migración, proliferación, organización tridimensional y diferenciación en linajes odontogénicos, vasculogénicos y neurogénicos de las células madre pertinentes. (Liu et al., 2022; Nowicka et al., 2021; Shoushrah et al., 2021). La biocompatibilidad del material cobra una relevancia primordial, ya que su adecuada compatibilidad es crucial para prevenir cualquier reacción adversa en el tejido receptor (Chen et al., 2021; Reddy et al., 2021). Otro aspecto de suma importancia es que el andamiaje tenga la capacidad de facilitar una remodelación constructiva, junto con una biodegradabilidad modificable que se adapte a la tasa de regeneración. (Dissanayaka & Zhang, 2020; Lutzweiler et al., 2020; Zhang & King, 2020) .

El propósito de esta revisión literaria es explorar a fondo las características

óptimas de los andamios empleados en la endodoncia regenerativa, analizando las tendencias, desafíos y avances en ingeniería de tejidos aplicados a la revitalización pulpar. Se busca ofrecer una perspectiva completa sobre la gama de andamios disponibles, su influencia en la regeneración dentino-pulpar, y proporcionar perspectivas que orienten hacia posibles futuras direcciones de investigación y aplicaciones clínicas en este campo multidisciplinario.

## Material y métodos

Este estudio se configura como una revisión exhaustiva de la literatura centrada en los andamios empleados en la endodoncia regenerativa. La indagación se llevó a cabo mediante una pesquisa en la base de datos PubMed, focalizándose específicamente en los tres niveles más elevados de la pirámide de evidencia científica: metaanálisis, revisiones sistemáticas y ensayos controlados aleatorizados. Se emplearon las palabras clave "scaffolds AND endodontics" con el objetivo de refinar la búsqueda.

Para garantizar la integridad de los resultados, se eliminaron los artículos duplicados. Posteriormente, cada uno de los artículos restantes fue sometido a una revisión minuciosa tanto de sus títulos como de sus resúmenes, excluyendo aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión preestablecidos. Seguidamente, los artículos seleccionados fueron leídos en su totalidad y de manera detallada, excluyendo aquellos que abordaban temáticas distintas al objeto de interés en esta revisión de la literatura.

### Criterios de inclusión

Los artículos fueron incluidos según los siguientes criterios:

1. Palabras clave: andamios y endodoncia;
2. Periodo de tiempo: Últimos 7 años
3. Diseños de estudio: meta-análisis, revisión sistemática y ensayos controlados aleatorizados
4. Artículos sobre andamios en endodoncia, tipos, características, ventajas, desventajas.

### Criterios de exclusión

Los artículos fueron excluidos según los siguientes criterios:

1. Artículos en idiomas distintos del inglés o español;
2. Artículos que, después de leer su título y resumen, no encajaban con el tema de interés de este trabajo.
3. Artículos que se encuentran bajo un sistema de pago.
4. Artículos que su publicación fue retractada

## Resultados

En la búsqueda en la base de datos PubMed con palabras clave específicas, se identificaron inicialmente 487 artículos. De estos, 25 cumplían con el criterio de ser metaanálisis, revisiones sistemáticas o ensayos controlados aleatorizados. Posteriormente, mediante una revisión manual detallada, se seleccionaron cuidadosamente 11 artículos que se consideraron pertinentes y útiles para la presente revisión de la literatura (Tabla 1 y 2)

Tabla 1. Resumen de Artículos de Meta-análisis y Revisiones Sistemáticas

Autor	año	Título	Andamio	Periodo de tiempo	Resultado
Altaii et al.	2017	Evaluación histológica del tratamiento endodóntico regenerativo en estudios con animales utilizando diversos andamios: Una revisión sistemática	CS <sup>1</sup> CS+Colágeno PRP <sup>2</sup>	- 2016	-+ <sup>7</sup>
Koç & Del Fabbro	2020	¿La etiología de la necrosis pulpar afecta los resultados del tratamiento endodóntico regenerativo? Una revisión sistemática y metaanálisis	CS PRF <sup>3</sup> PP <sup>4</sup>	2014 - 2029	+++ <sup>8</sup>
Alghamdi & Alqurashi	2020	Terapia endodóntica regenerativa en el manejo de la dentición permanente inmadura y necrótica: Una revisión sistemática	CS CS+PRP CS+PRP+PRF CS+CS-FGF <sup>5</sup> CS+CS-PRF PRP	2009 - 2019	++ <sup>9</sup>
Tang et al.	2022	¿Son los andamios de concentrado de plaquetas superiores a los andamios tradicionales de coágulo	CS CS+PRP	- 2022	-+

		sanguíneo en la terapia de regeneración de dientes permanentes inmaduros necróticos? Una revisión sistemática y metaanálisis	PRP PRP+Colágeno PRF CS+PRF CS+PRP+Colágeno CS+L-PRF <sup>6</sup>			
Sabeti et al.	2023	Resultados del tratamiento de la terapia endodóntica regenerativa en dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar: Una revisión sistemática y metaanálisis	CS PRP PRF CS+Colágeno PP	-	2022	+ <sup>10</sup>
Ríos-Osorio et al.	2023	Resultados comparativos de concentrados de plaquetas y andamios de coágulo sanguíneo en procedimientos de terapia endodóntica regenerativa: Una revisión sistemática de ensayos clínicos controlados y aleatorizados	CS+PRP+Colágeno PRP PP PRF PRP+Colágeno	-	2022	+

1. *Coágulo sanguíneo*
2. *Plasma rico en plaquetas*
3. *Fibrina rica en plaquetas*
4. *Fragmentos plaquetarios*
5. *Factor de crecimiento fibroblástico*

6. *Fibrina rica en plaquetas y leucocitos*
7. *Resultados positivos y negativos mixtos/neutrales*

Tabla 2 Resumen de Artículos de Ensayos Clínicos Aleatorizados

<b>Autor</b>	<b>año</b>	<b>Título</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Andamio</b>	<b>Método de Aleatorización</b>
Jiang et al.	2017	Evaluación clínica y radiográfica de la eficacia de una membrana de colágeno en endodoncia regenerativa: Un ensayo clínico aleatorizado y controlado	Eficacia membrana colágeno	Membrana de Colágeno	Simple ciego
Santhakumar et al.	2018	Una comparación clinicoradiográfica de los efectos del gel de fibrina rica en plaquetas y la membrana de fibrina rica en plaquetas como andamios en el tratamiento de apexificación en dientes permanentes jóvenes	PRF <sup>1</sup> gel VS PRF membrana	Gel PRF Membrana PRF	Triple ciego
Brizuela et al.	2020	Endodoncia regenerativa basada en células para el tratamiento de lesiones periapicales: Un ensayo clínico aleatorizado y controlado de fase I/II	Eficacia biomaterial derivado de plasma	PPP <sup>7</sup>	Triple ciego

EISheshtawy et al.	2020	El efecto del plasma rico en plaquetas como andamio en la endodoncia de regeneración/revitalización de dientes permanentes inmaduros evaluado mediante radiografías bidimensionales y tomografía computarizada de haz cónico: Un ensayo controlado aleatorizado	PRP <sup>2</sup> en CBCT <sup>3</sup> y RX <sup>4</sup>	CS PRP	Simple ciego
Ulusoy et al.	2019	Evaluación de coágulo sanguíneo, plasma rico en plaquetas, fibrina rica en plaquetas y pellet de plaquetas como andamios en el tratamiento endodóntico regenerativo: Un ensayo prospectivo aleatorizado	PRP vs PRF vs PP <sup>5</sup> vs CS <sup>6</sup> en RX	PRP PRF PP CS	Simple ciego

1. *Fibrina rica en plaquetas*
2. *Plasma rico en plaquetas*
3. *Tomografía computarizada de haz cónico*
4. *Radiografía*
5. *Fragmentos plaquetarios*
6. *Coágulo sanguíneo*
7. *Plasma pobre en plaquetas*

## Discusión

En endodoncia regenerativa, los andamios son cruciales para crear un entorno propicio con células madre y factores de crecimiento. Aunque se prefieren enfoques naturales como el coágulo sanguíneo (CS), el plasma rico en plaquetas (PRP) y la fibrina rica en plaquetas (PRF), enfrentan desafíos técnicos como la formación intracanal del coágulo y la obtención de PRF y PRP por venopunción (Araújo et al., 2022). Actualmente, hay varios andamios con propiedades variables.

En endodoncia avanzada, la regeneración del tejido pulpar destaca con el uso de biocerámicos, como compuestos de fosfato de calcio (CPCs) y vidrios bioactivos (Asghari et al., 2016). A pesar de limitaciones en la resistencia mecánica, la investigación propone andamios híbridos, fusionando bioactividad de biocerámicos con la flexibilidad de polímeros ((Noohi et al., 2022). Polímeros sintéticos, como ácido poliglicólico (PLA) y polietilenglicol (PEG), ampliamente usados en aplicaciones biomédicas, enfrentan desafíos por falta de componentes bioactivos. La modificación química permite su integración, generando materiales funcionales (Wu et al., 2021). En endodoncia regenerativa, biomateriales naturales, biocompatibles y biodegradables, esenciales al ser biológicamente reconocibles, minimizan el riesgo de rechazo del tejido.

Esta revisión de la literatura se realizó para resumir y evaluar todos los estudios publicados en los últimos 7 años y que cumplieran con nuestro objetivo de estudio. Esta revisión de la literatura actual tuvo como objetivo recopilar toda la información actualizada que investiga acerca de los andamios utilizados en endodoncia regenerativa. Este estudio presenta una recopilación exhaustiva de evidencia tomada de 17 artículos que cumplieron con nuestros criterios de inclusión y exclusión.

En los últimos años, la endodoncia regenerativa ha experimentado un intrigante avance, con estudios de notables autores delineando una amplia gama de estrategias y andamios para revitalizar pulpas necróticas en dientes inmaduros. La obra de Alghamdi & Alqurashi destaca de manera convincente la esencialidad de elementos biológicos específicos, como coágulos de sangre, plasma rico en plaquetas y plasma rico en fibrina, en el ámbito de la terapia regenerativa (Alghamdi & Alqurashi, 2020). Este énfasis no solo sugiere una tendencia hacia la integración de estos componentes en protocolos clínicos, sino también la imperiosa necesidad de una comprensión más profunda de su papel en la estimulación de la revitalización pulpar.

La revisión sistemática de Altaï et al., 2017 añade un matiz importante al resaltar los desafíos intrínsecos en la obtención de pulpa y dentina organizadas durante los procesos regenerativos (Altaï et al., 2017). Este descubrimiento no solo refleja la complejidad inherente de tales

procesos, sino que también subraya la urgencia de explorar en detalle cómo diferentes andamios interactúan con el microentorno tisular. En este contexto, la variabilidad de resultados según los andamios utilizados resalta la importancia de una aproximación personalizada y adaptativa en la endodoncia regenerativa, una perspectiva respaldada por Koç & Del Fabbro, quienes enfatizan la prevalencia del uso de coágulos sanguíneos y concentrados de plaquetas (Altafi et al., 2017; Koç & Del Fabbro, 2020).

La investigación clínica de Brizuela et al., 2020 y Tang et al., 2022 aporta capas adicionales a la comprensión práctica de la regeneración endodóntica (Brizuela et al., 2020; Tang et al., 2022). Brizuela y cols. Click or tap here to enter text. evalúan la encapsulación de células alogénicas de cordón umbilical, mientras que Tang et al., resalta el papel crucial del concentrado de plaquetas (PRP o PRF) (Brizuela et al., 2020; Tang et al., 2022). Estos estudios clínicos no solo brindan una visión valiosa sobre la aplicación de andamios específicos, sino que también destacan mejoras significativas en respuestas a estímulos como el frío y el calor, señalando avances significativos en la capacidad de respuesta de los tejidos tratados.

Ulusoy et al. realizaron un estudio prospectivo aleatorizado sobre endodoncia regenerativa, donde compararon coágulos sanguíneos, plasma rico en plaquetas, fibrina rica en plaquetas y gránulos de plaquetas. Aunque no hubo diferencias significativas en las respuestas post tratamiento, los grupos PRP, PRF y fragmentos plaquetarios (PP) mostraron tiempos de respuesta más rápidos en las pruebas de sensibilidad, posiblemente debido al mayor contenido de plaquetas en estos andamios biológicos, estimulando la regeneración de fibras sensoriales (Ulusoy et al., 2019). ElSheshtawy et al., 2020, en la evaluación de resultados del plasma rico en plaquetas utilizando tomografía computarizada y radiografías bidimensionales destaca los resultados exitosos y comparables en términos clínicos y radiográficos de la técnica de endodoncia regenerativa/revitalizante utilizando PRP y CS (ElSheshtawy et al., 2020).

Los metaanálisis de Sabeti et al., 2023 y Ríos-Osorio et al., 2023 expanden la visión de la regeneración endodóntica a través de un análisis más detallado (Ríos-Osorio et al., 2023; Sabeti et al., 2023). Sabeti et al., sugieren un aumento significativo en la longitud de las raíces con la terapia de PRP, mientras que Ríos-Osorio et al., concluyen que, independientemente del método (CS, PRP y PRF), la terapia puede considerarse exitosa (Ríos-Osorio et al., 2023; Sabeti et al., 2023). Sin embargo, ambos meta-análisis subrayan la necesidad de estudios más rigurosos, destacando la importancia de una investigación continua para fortalecer la evidencia científica.

Santhakumar et al., en 2018 añaden una dimensión esencial al comparar el gel PRF y la membrana PRF en el tratamiento de apexificación (Santhakumar et al., 2018). Este estudio no solo resalta las ventajas temporales del gel PRF, sino que también enfatiza la importancia

de una evaluación a largo plazo para comprender completamente la eficacia de estos andamios en la regeneración. Esta perspectiva refuerza la idea de que la durabilidad y sostenibilidad de los tratamientos regenerativos son elementos cruciales por considerar.

Por otra parte Jiang et al. evaluaron la eficacia de la membrana de colágeno como andamio para promover la formación de dentina en el año 2017, en el cual determinaron que la membrana de colágeno usada como andamio no mejoró de manera significativa la tasa de éxito o el crecimiento en el tercio apical de las piezas evaluadas; sin embargo, se observó un desarrollo en las paredes el tercio medio radicular que fue el sitio en donde la membrana fue colocada (Jiang et al., 2017).

Esta revisión exhaustiva sobre los andamios utilizados en la endodoncia regenerativa resalta la importancia de encontrar un equilibrio delicado entre la ingeniería de tejidos y las demandas biológicas específicas del complejo dentino-pulpar. A medida que la investigación avanza, se observa una tendencia hacia la preferencia de coágulos sanguíneos y concentrados de plaquetas como andamios, pero también se exploran alternativas como biocerámicos y polímeros modificados.

La variabilidad en los resultados destaca la necesidad de un enfoque personalizado y adaptativo en la endodoncia regenerativa. Aunque se han logrado avances notables, la falta de un andamio que cumpla con todas las características ideales subraya la complejidad y la necesidad de investigaciones futuras. La inclusión de estudios clínicos y metaanálisis proporciona una visión más completa, pero la llamada a investigaciones más rigurosas destaca la importancia de fortalecer la evidencia científica.

En última instancia, este campo en evolución promete un horizonte emocionante en la endodoncia contemporánea, sugiriendo que la personalización y la comprensión más profunda de los procesos regenerativos son esenciales para optimizar la regeneración pulpar y dentinaria. La síntesis de estudios de diversos autores a lo largo de esta revisión refleja un panorama amplio y diverso que impulsa la continua innovación en esta disciplina.

En resumen, la endodoncia regenerativa se beneficia de una amalgama de enfoques respaldados por estudios de diferentes autores. La tendencia hacia la utilización de coágulos sanguíneos y concentrados de plaquetas como andamios, junto con la exploración de nuevas alternativas, destaca la evolución constante en este campo. La integración de estos hallazgos en la práctica clínica requiere una consideración cuidadosa de las condiciones individuales de cada caso y la adopción de enfoques personalizados para optimizar la regeneración pulpar y dentinaria. Este camino hacia la personalización y la comprensión más profunda de los procesos regenerativos representa un emocionante horizonte en la endodoncia contemporánea, marcando un capítulo prometedor en el avance de esta disciplina.

## Conclusiones

Esta revisión exhaustiva de la literatura revela que los andamios preeminentes en endodoncia son principalmente los coágulos sanguíneos y aquellas a base de plasma sanguíneo. A pesar de las perspectivas alentadoras que muestran los estudios sobre la endodoncia regenerativa, es imperativa la realización de investigaciones que permitan ampliar los conocimientos en este campo para avanzar y consolidar las prometedoras posibilidades que ofrecen estos andamiajes en endodoncia regenerativa.

### Limitaciones

Durante la búsqueda llevada a cabo en PubMed con las palabras clave especificadas, no se hallaron artículos disponibles que abordaran los andamios de tipo biocerámico y sintético.

## Referencias bibliográficas

- Abdollahiyan, P., Oroojalian, F., & Mokhtarzadeh, A. (2021). The triad of nanotechnology, cell signalling, and scaffold implantation for the successful repair of damaged organs: An overview on soft-tissue engineering. In *Journal of Controlled Release* (Vol. 332, pp. 460–492). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.02.036>
- Ahmed, G. M., Abouauf, E. A., Abubakr, N., Dörfer, C. E., & El-Sayed, K. F. (2020). Tissue Engineering Approaches for Enamel, Dentin, and Pulp Regeneration: An Update. *Stem Cells International*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/5734539>
- Alghamdi, F. T., & Alqurashi, A. E. (2020). Regenerative Endodontic Therapy in the Management of Immature Necrotic Permanent Dentition: A Systematic Review. In *Scientific World Journal* (Vol. 2020). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/7954357>
- Altaii, M., Richards, L., & Rossi-Fedele, G. (2017). Histological assessment of regenerative endodontic treatment in animal studies with different scaffolds: A systematic review. In *Dental Traumatology* (Vol. 33, Issue 4, pp. 235–244). Blackwell Munksgaard. <https://doi.org/10.1111/edt.12338>
- Araújo, L. De, Goulart, T. S., Gil, A. C. K., Schuldt, D. P. V., Coelho, B. S., Figueiredo, D. D. R., Garcia, L. D. F. R., & De Almeida, J. (2022). Do alternative scaffolds used in regenerative endodontics promote better root development than that achieved with blood clots? *Brazilian Dental Journal*, 33(2), 22–32. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202204746>
- Asghari, F., Salehi, R., Agazadeh, M., Alizadeh, E., Adibkia, K., Samiei, M., Akbarzadeh, A., Aval, N. A., & Davaran, S. (2016). The odontogenic differentiation of human dental pulp stem cells on hydroxyapatite-coated biodegradable nanofibrous scaffolds. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 65(14), 720–728. <https://doi.org/10.1080/00914037.2016.1163564>
- Bansal, R., & Bansal, R. (2011). Regenerative endodontics: A state of the art. *Indian Journal of Dental Research*, 22(1), 122–131. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.79977>
- Bindal, P., Kasim, N. H. A., Ramasamy, T. S., Dabbagh, A., Moharamzadeh, K., & Chai, W. L. (2017). Dental pulp tissue engineering and regenerative endodontic therapy. In *Biomaterials for Oral and Dental Tissue Engineering* (pp. 297–318). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100961-1.00018-9>
- Brizuela, C., Meza, G., Urrejola, D., Quezada, M. A., Concha, G., Ramírez, V., Angelopoulos, I., Cadiz, M. I., Tapia-Limonchi, R., & Khoury, M. (2020). Cell-Based Regenerative Endodontics for Treatment of Periapical Lesions: A Randomized, Controlled Phase I/II Clinical Trial. *Journal of Dental Research*, 99(5), 523–529. <https://doi.org/10.1177/0022034520913242>
- Carriero, V. C., Di Muzio, L., Petralito, S., Casadei, M. A., & Paolicelli, P. (2023). Cryogel Scaffolds for Tissue-Engineering: Advances and Challenges for Effective Bone and

- Cartilage Regeneration. In *Gels* (Vol. 9, Issue 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/gels9120979>
- Chandra, P. K., Soker, S., & Atala, A. (2020). Tissue engineering: Current status and future perspectives. In *Principles of Tissue Engineering* (pp. 1–35). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818422-6.00004-6>
- Chen, S., Gil, C. J., Ning, L., Jin, L., Perez, L., Kabboul, G., Tomov, M. L., & Serpooshan, V. (2021). Adhesive Tissue Engineered Scaffolds: Mechanisms and Applications. In *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.683079>
- Dissanayaka, W. L., & Zhang, C. (2020). Scaffold-based and Scaffold-free Strategies in Dental Pulp Regeneration. *Journal of Endodontics*, 46(9), S81–S89. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.06.022>
- Donnalaja, F., Jacchetti, E., Soncini, M., & Raimondi, M. T. (2020). Natural and synthetic polymers for bone scaffolds optimization. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/POLYM12040905>
- Ebhodaghe, S. O. (2021). Natural Polymeric Scaffolds for Tissue Engineering Applications. In *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition* (Vol. 32, Issue 16, pp. 2144–2194). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/09205063.2021.1958185>
- ElSheshtawy, A. S., Nazzal, H., El Shahawy, O. I., El Baz, A. A., Ismail, S. M., Kang, J., & Ezzat, K. M. (2020). The effect of platelet-rich plasma as a scaffold in regeneration/revitalization endodontics of immature permanent teeth assessed using 2-dimensional radiographs and cone beam computed tomography: a randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*, 53(7), 905–921. <https://doi.org/10.1111/iej.13303>
- Jazayeri, H. E., Lee, S.-M., Kuhn, L., Fahimipour, F., Tahriri, M., & Tayebi, L. (2019). *Polymeric Scaffolds for Dental Pulp Tissue Engineering: A Review*.
- Jiang, X., Liu, H., & Peng, C. (2017). Clinical and Radiographic Assessment of the Efficacy of a Collagen Membrane in Regenerative Endodontics: A Randomized, Controlled Clinical Trial. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1465–1471. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.04.011>
- Kim, S. G., Malek, M., Sigurdsson, A., Lin, L. M., & Kahler, B. (2018). Regenerative endodontics: a comprehensive review. In *International Endodontic Journal* (Vol. 51, Issue 12, pp. 1367–1388). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/iej.12954>
- Koç, S., & Del Fabbro, M. (2020). Does the Etiology of Pulp Necrosis Affect Regenerative Endodontic Treatment Outcomes? A Systematic Review and Meta-analyses. In *Journal of Evidence-Based Dental Practice* (Vol. 20, Issue 1). Mosby Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2020.101400>
- Liu, H., Lu, J., Jiang, Q., Haapasalo, M., Qian, J., Tay, F. R., & Shen, Y. (2022). Biomaterial scaffolds for clinical procedures in endodontic regeneration: Biomaterial scaffolds in endodontic regeneration. *Bioactive Materials*, 12, 257–277. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.10.008>

- Lutzweiler, G., Halili, A. N., & Vrana, N. E. (2020). The overview of porous, bioactive scaffolds as instructive biomaterials for tissue regeneration and their clinical translation. In *Pharmaceutics* (Vol. 12, Issue 7, pp. 1–29). MDPI AG.  
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12070602>
- Mathew, A. P., Augustine, R., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (n.d.). *TISSUE ENGINEERING: PRINCIPLES, RECENT TRENDS AND THE FUTURE*.
- Maticescu, A., Ardelean, L. C., Rusu, L. C., Craciun, D., Bratu, E. A., Babucea, M., & Leretter, M. (2020). Advanced biomaterials and techniques for oral tissue engineering and regeneration—a review. In *Materials* (Vol. 13, Issue 22, pp. 1–37). MDPI AG.  
<https://doi.org/10.3390/ma13225303>
- Noohi, P., Abdekhodaie, M. J., Nekoofar, M. H., Galler, K. M., & Dummer, P. M. H. (2022). Advances in scaffolds used for pulp–dentine complex tissue engineering: A narrative review. In *International Endodontic Journal* (Vol. 55, Issue 12, pp. 1277–1316). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/iej.13826>
- Nowicka, A., Miller-Burchacka, M., Lichota, D., Metlerska, J., & Gońda-Domin, M. (2021). Tissue engineering application in regenerative endodontics. *Pomeranian J Life Sci*, 67(2), 10–17. <https://doi.org/10.21164/pomjlifesci.718>
- Pulyodan, M. K., Mohan, S. P., Valsan, D., Divakar, N., Moyin, S., & Thayyil, S. (2020). Regenerative endodontics: A paradigm shift in clinical endodontics. In *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* (Vol. 12, Issue 5, pp. S20–S26). Wolters Kluwer Medknow Publications. [https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS\\_112\\_20](https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_112_20)
- Reddy, M. S. B., Ponnamma, D., Choudhary, R., & Sadasivuni, K. K. (2021). A comparative review of natural and synthetic biopolymer composite scaffolds. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym13071105>
- Ríos-Osorio, N., Caviedes-Bucheli, J., Jimenez-Peña, O., Orozco-Agudelo, M., Mosquera-Guevara, L., Jiménez-Castellanos, F. A., & Muñoz-Alvear, H. D. (2023). Comparative outcomes of platelet concentrates and blood clot scaffolds for regenerative endodontic procedures: A systematic review of randomized controlled clinical trials. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 15(3). <https://doi.org/10.4317/jced.60150>
- Sabeti, M., Ghobrial, D., Zanjir, M., da Costa, B. R., Young, Y., & Azarpazhooh, A. (2023). Treatment outcomes of regenerative endodontic therapy in immature permanent teeth with pulpal necrosis: A systematic review and network meta-analysis. In *International Endodontic Journal*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/iej.13999>
- Santhakumar, M., Yayathi, S., & Retnakumari, N. (2018). A clinicoradiographic comparison of the effects of platelet-rich fibrin gel and platelet-rich fibrin membrane as scaffolds in the apexification treatment of young permanent teeth. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 36(1), 65–70. [https://doi.org/10.4103/JISPPD.JISPPD\\_180\\_17](https://doi.org/10.4103/JISPPD.JISPPD_180_17)
- Sharma, P., Kumar, P., Sharma, R., Bhatt, V. D., & Dhot, P. S. (2019). Tissue Engineering; Current Status & Futuristic Scope. *Journal of Medicine and Life*, 2019(3), 225–229. <https://doi.org/10.25122/jml-2019-0032>

- Shoushrah, S. H., Transfeld, J. L., Tonk, C. H., Büchner, D., Witzleben, S., Sieber, M. A., Schulze, M., & Tobiasch, E. (2021). Sinking our teeth in getting dental stem cells to clinics for bone regeneration. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms22126387>
- Tang, Q., Jin, H., Lin, S., Ma, L., Tian, T., & Qin, X. (2022). Are platelet concentrate scaffolds superior to traditional blood clot scaffolds in regeneration therapy of necrotic immature permanent teeth? A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02605-4>
- Ulusoy, A. T., Turedi, I., Cimen, M., & Cehreli, Z. C. (2019). Evaluation of Blood Clot, Platelet-rich Plasma, Platelet-rich Fibrin, and Platelet Pellet as Scaffolds in Regenerative Endodontic Treatment: A Prospective Randomized Trial. *Journal of Endodontics*, 45(5), 560–566. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.02.002>
- Wang, M., Wu, Y., Li, G., Lin, Q., Zhang, W., Liu, H., & Su, J. (2024). Articular cartilage repair biomaterials: strategies and applications. *Materials Today Bio*, 24, 100948. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2024.100948>
- Wen, N., Qian, E., & Kang, Y. (2021). Effects of macro-/micro-channels on vascularization and immune response of tissue engineering scaffolds. In *Cells* (Vol. 10, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cells10061514>
- Widbiller, M., Knüttel, H., Meschi, N., & Durán-Sindreu Terol, F. (2023). Effectiveness of endodontic tissue engineering in treatment of apical periodontitis: A systematic review. In *International Endodontic Journal* (Vol. 56, Issue S3, pp. 533–548). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/iej.13784>
- Wu, D. T., Munguia-Lopez, J. G., Cho, Y. W., Ma, X., Song, V., Zhu, Z., & Tran, S. D. (2021). Polymeric scaffolds for dental, oral, and craniofacial regenerative medicine. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules26227043>
- Yazdaniyan, M., Arefi, A. H., Alam, M., Abbasi, K., Tebyaniyan, H., Tahmasebi, E., Ranjbar, R., Seifalian, A., & Rahbar, M. (2021). Decellularized and biological scaffolds in dental and craniofacial tissue engineering: a comprehensive overview. In *Journal of Materials Research and Technology* (Vol. 15, pp. 1217–1251). Elsevier Editora Ltda. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.083>
- Zhang, F., & King, M. W. (2020). Biodegradable Polymers as the Pivotal Player in the Design of Tissue Engineering Scaffolds. In *Advanced Healthcare Materials* (Vol. 9, Issue 13). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/adhm.201901358>
- Zhao, Q., Zhou, Y., & Wang, M. (2021). Three-dimensional endothelial cell incorporation within bioactive nanofibrous scaffolds through concurrent emulsion electrospinning and coaxial cell electrospraying. *Acta Biomaterialia*, 123, 312–324. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.01.035>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.