Sanitas
Revista arbitrada de ciencias de la salud
Vol. 5(especial9), 648-655, 2026
DOI: https://doi.org/10.62574/zri7d7ao

Avances de los biomateriales para la regeneración ósea: revisión narrativa

Advances in biomaterials for bone regeneration: a narrative review

Belén Arely Michilena-Molina
belenmm32@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador
https://orcid.org/0009-0005-8754-2842

Anaheli Yasira Salazar-Noboa
anahelisn41@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador
https://orcid.org/0009-0004-7880-7100

Gladys Viviana Urrego-Cueva
ui.gladysuc07@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador
https://orcid.org/0009-0006-9336-1893

RESUMEN

Objetivo: describir los avances recientes de los biomateriales empleados en la regeneración ósea, con énfasis en la impresión tridimensional y la nanotecnología. **Método:** revisión narrativa con búsqueda en PubMed, Scopus y SciELO; se analizaron 15 artículos publicados entre 2017 y 2024 en revistas indexadas en PubMed. **Resultados:** el injerto autólogo sigue siendo la referencia, pero las cerámicas de fosfato de calcio, los vidrios bioactivos, los polímeros naturales y sintéticos y los materiales compuestos ofrecen alternativas osteoconductoras. La impresión tridimensional permite andamios personalizados con porosidad controlada, y las nanopartículas y los hidrogeles añaden bioactividad y liberación controlada de moléculas. **Conclusión:** los biomateriales compuestos y personalizados son prometedores para la odontología regenerativa, aunque la evidencia clínica en humanos todavía es limitada.

Descriptores: regeneración ósea; sustitutos de huesos; materiales biocompatibles; impresión tridimensional; nanotecnología. (Fuente, DeCS).

ABSTRACT

Objective: To describe recent advances in biomaterials for bone regeneration, with emphasis on three-dimensional printing and nanotechnology. **Method:** Narrative review searching PubMed, Scopus and SciELO; 15 articles published between 2017 and 2024 in PubMed-indexed journals were analysed. **Results:** Autologous grafts remain the reference, but calcium phosphate ceramics, bioactive glasses, natural and synthetic polymers and composites offer osteoconductive alternatives. Three-dimensional printing enables customised scaffolds with controlled porosity, and nanoparticles and hydrogels add bioactivity and controlled release. **Conclusion:** Composite and customised biomaterials are promising for regenerative dentistry, although clinical evidence in humans remains limited.

Descriptors: bone regeneration; bone substitutes; biocompatible materials; printing, three-dimensional; nanotechnology. (Source, DeCS).

Recibido: 10/09/2026. Revisado: 28/09/2026. Aprobado: 20/10/2026. Publicado: 15/11/2026.

Original breve

INTRODUCCIÓN

Los defectos óseos causados por traumatismos, resecciones tumorales, malformaciones craneofaciales, enfermedad periodontal o pérdida dentaria pueden superar la capacidad espontánea de reparación del hueso. El injerto autólogo se considera la referencia porque aporta células osteogénicas, señales osteoinductivas y una matriz osteoconductora; sin embargo, su cantidad es limitada y se asocia con morbilidad en el sitio donante. Los aloinjertos y xenoinjertos evitan esa segunda intervención, aunque con menor potencial biológico y riesgos inmunológicos o de transmisión de enfermedades, lo que ha impulsado el desarrollo de sustitutos sintéticos (1).

En la práctica clínica ya se dispone de numerosos dispositivos aprobados para la regeneración ósea, entre ellos matrices óseas desmineralizadas, cerámicas de fosfato de calcio, vidrios bioactivos y materiales compuestos con polímeros. Cada uno se elige según el tamaño y la localización del defecto, la carga mecánica que debe soportar y la velocidad de reabsorción deseada (2).

El comportamiento de estos materiales se describe con cuatro propiedades. La osteoconductividad es la capacidad de servir como andamio para la migración y el crecimiento de células óseas; la osteoinductividad, la de estimular la diferenciación de células mesenquimales hacia osteoblastos, como ocurre con las proteínas morfogenéticas óseas; la bioactividad, la de establecer un enlace químico con el tejido; y la biocompatibilidad, la de integrarse sin provocar una respuesta adversa del huésped. Ningún material reúne por sí solo todas ellas, por lo que la investigación se orienta a combinarlas (3).

En odontología, la regeneración ósea guiada emplea membranas de barrera, reabsorbibles o no, que impiden la invasión del tejido blando y permiten que el coágulo y el injerto se transformen en hueso. Esta técnica se utiliza en defectos alveolares y periimplantarios, y su éxito depende tanto de las propiedades de la membrana como de los mecanismos biológicos que modula (4).

En los últimos años, dos tecnologías han ampliado las opciones disponibles. La impresión tridimensional permite fabricar injertos con la forma del defecto a partir de imágenes del paciente y con una porosidad controlada (5). La nanotecnología ha incorporado nanopartículas inorgánicas que aumentan la bioactividad, refuerzan la estructura o aportan efecto antimicrobiano (6). A pesar de este progreso, el número de ensayos clínicos con biomateriales diseñados es todavía reducido en comparación con la investigación de laboratorio (7).

El objetivo de esta revisión es describir los avances recientes de los biomateriales empleados en la regeneración ósea, con énfasis en la impresión tridimensional y la nanotecnología, y valorar su aplicación clínica en odontología.

MÉTODO

Se realizó una revisión narrativa de la literatura. La búsqueda se efectuó en PubMed, Scopus y SciELO con términos en español e inglés: «biomateriales para regeneración ósea», «bone regeneration biomaterials», «bioceramics and bone healing» y «osteoconductive and osteoinductive materials», combinados con los operadores booleanos AND y OR.

Se incluyeron artículos publicados en revistas revisadas por pares e indexadas en PubMed o SciELO, en inglés o español, que trataran el desarrollo, las propiedades o la aplicación de biomateriales para la regeneración ósea, incluidos estudios experimentales, revisiones sistemáticas y revisiones narrativas. Se excluyeron los documentos sin acceso al texto completo, los que no abordaban específicamente la regeneración ósea y la literatura gris.

Se analizaron 15 documentos publicados entre 2017 y 2024. La información se organizó por grupos de materiales: injertos y sustitutos óseos, cerámicas y vidrios bioactivos, polímeros e hidrogeles, y tecnologías de fabricación y funcionalización. No se realizó una evaluación formal de la calidad metodológica ni un análisis cuantitativo de los resultados.

RESULTADOS

De los 15 documentos analizados, la mayoría fueron revisiones narrativas sobre grupos específicos de biomateriales. Se incluyeron además una revisión sistemática en humanos sobre sustitutos del injerto autólogo en fisuras alveolares (8), un estudio experimental preliminar sobre biocerámicas dopadas y un análisis de los ensayos clínicos registrados con biomateriales diseñados (7). La tabla 1 resume los principales grupos de materiales identificados.

Injertos y sustitutos óseos

Los documentos coinciden en que el injerto autólogo mantiene el mejor perfil biológico, pero que los aloinjertos, los xenoinjertos y los sustitutos sintéticos son alternativas útiles cuando el volumen necesario es grande o se quiere evitar un segundo sitio quirúrgico (1,2). En el campo maxilofacial, la revisión sistemática de Osorio et al. comparó la densidad, el volumen, la altura y la tasa de reabsorción ósea obtenidos con distintos sustitutos del hueso autólogo en la reparación de fisuras alveolares, y señaló que la heterogeneidad de los estudios limita las comparaciones entre materiales (8).

Cerámicas y vidrios bioactivos

La hidroxiapatita y el fosfato tricálcico beta son los sustitutos sintéticos más empleados por su semejanza con la fase mineral del hueso y su osteoconductividad. Se diferencian en la velocidad de reabsorción, más lenta en la hidroxiapatita, lo que ha favorecido las mezclas bifásicas; su principal limitación es la fragilidad en zonas sometidas a carga (1,3).

Los vidrios bioactivos liberan iones de silicio, calcio y fósforo que favorecen la formación de una capa de apatita y la actividad de las células óseas. Las versiones mesoporosas presentan una gran superficie específica y poros ordenados que permiten cargar y liberar fármacos o moléculas osteogénicas (9). La incorporación de iones metálicos en la red vítrea es otra vía de mejora: un estudio preliminar mostró que el dopaje con óxido de cromo modificaba la estructura y el comportamiento de biocerámicas del sistema SiO2-CaO-P2O5 orientadas a la regeneración ósea (10).

Polímeros, hidrogeles y materiales compuestos

Los polímeros naturales, como el colágeno, la quitosana, el alginato y la gelatina, favorecen la adhesión y la proliferación celular, mientras que los sintéticos, como el ácido poliláctico, la policaprolactona y sus copolímeros, permiten ajustar la resistencia y la velocidad de degradación. Su debilidad mecánica se compensa combinándolos con fases cerámicas en matrices compuestas que integran la osteoconducción de la cerámica y la degradabilidad del polímero (11,12). Los invertebrados marinos se han propuesto como fuente sostenible de colágeno, quitosana y esqueletos de carbonato de calcio para estos andamios (13).

Los hidrogeles, por su alto contenido de agua y su capacidad de adaptarse a defectos irregulares, son vehículos para la liberación controlada de factores de crecimiento y otras moléculas. Una línea reciente los utiliza para transportar exosomas derivados de células madre, una estrategia sin células que ha mostrado potencial en la regeneración de tejidos orales y óseos en modelos preclínicos (14).

Factores osteoinductivos

Para compensar la falta de osteoinductividad de la mayoría de los sustitutos sintéticos, los andamios se combinan con factores de crecimiento, como la proteína morfogenética ósea 2, que estimula la diferenciación osteoblástica, y el factor de crecimiento endotelial vascular, que promueve la angiogénesis. La eficacia de esta asociación depende de que el material libere el factor de forma sostenida y en dosis adecuadas, ya que una liberación brusca reduce su efecto y puede causar reacciones adversas (3). Los vidrios mesoporosos y los hidrogeles se han propuesto precisamente como vehículos para esa liberación controlada (9,14).

Tecnologías de fabricación y funcionalización

La impresión tridimensional permite fabricar injertos y andamios a la medida del defecto, con control de la arquitectura interna y de la interconexión de los poros, condiciones que influyen en la migración celular y la vascularización (5). Esta técnica se aplica tanto a cerámicas como a polímeros y se considera una herramienta clave para una medicina regenerativa personalizada (12).

Las nanopartículas inorgánicas, entre ellas las de hidroxiapatita, plata y óxidos metálicos, se incorporan a los andamios para mejorar la bioactividad, la resistencia mecánica o la

actividad antimicrobiana, aunque su toxicidad potencial requiere una evaluación cuidadosa (6). Los andamios bioactivos multifuncionales se exploran también en defectos tras la resección de tumores óseos, donde se busca a la vez regenerar el hueso y actuar sobre las células tumorales residuales (15). Pese a estos avances, la mayoría de los desarrollos permanece en fase preclínica, y los ensayos clínicos registrados con biomateriales diseñados se concentran en un número limitado de aplicaciones (7).

Tabla 1. *Principales grupos de biomateriales para la regeneración ósea descritos en la literatura analizada*

Grupo	Ejemplos	Aportes y limitaciones	Referencias
Injertos óseos	Autólogo, aloinjerto, xenoinjerto, matriz ósea desmineralizada	Mejor perfil biológico del autólogo; disponibilidad limitada y morbilidad del sitio donante	1, 2, 8
Cerámicas y vidrios bioactivos	Hidroxiapatita, fosfato tricálcico beta, vidrios mesoporosos, cerámicas dopadas	Osteoconductividad y liberación iónica; fragilidad mecánica	1, 3, 9, 10
Polímeros e hidrogeles	Colágeno, quitosana, alginato, ácido poliláctico, policaprolactona, hidrogeles con exosomas	Degradación ajustable y liberación controlada; baja resistencia aislados	11-14
Fabricación y funcionalización	Impresión 3D, nanopartículas inorgánicas, andamios multifuncionales	Personalización y bioactividad añadida; evidencia clínica escasa	5, 6, 7, 12, 15

Fuente: elaboración propia a partir de las referencias citadas.

DISCUSIÓN

Los documentos revisados muestran que la regeneración ósea ha pasado de depender casi exclusivamente del injerto autólogo a disponer de una amplia gama de sustitutos con propiedades complementarias (1,2). Ningún material reproduce por completo las funciones del hueso vivo, por lo que la tendencia dominante es combinar fases y funciones: una matriz osteoconductora, una señal osteoinductiva y una arquitectura que permita la colonización celular y vascular (3,11).

Las cerámicas de fosfato de calcio y los vidrios bioactivos siguen siendo la base mineral de la mayoría de los sustitutos sintéticos. Su ventaja es la afinidad química con el hueso; su límite, la fragilidad (1,9). Los polímeros aportan lo contrario: tenacidad y degradación ajustable, pero escasa bioactividad propia. La diferencia en la velocidad de degradación entre el ácido poliláctico y la policaprolactona, mencionada en varios trabajos, ilustra que el material debe reabsorberse a un ritmo compatible con la formación de hueso nuevo para no retrasar la remodelación (11,12). Por ello, los materiales compuestos representan hoy la opción con mayor desarrollo.

La impresión tridimensional y la nanotecnología no sustituyen a estos materiales, sino que modifican su forma y su superficie. La primera traslada la planificación digital al injerto y permite ajustar la porosidad a cada defecto (5,12); la segunda añade funciones, como la liberación de iones o el efecto antimicrobiano, cuyo beneficio debe equilibrarse con su posible toxicidad (6). Las estrategias sin células, como los hidrogeles cargados con exosomas, y los andamios multifuncionales para defectos oncológicos abren líneas de interés, aunque su evidencia es todavía experimental (14,15).

Para la odontología, el campo de aplicación más directo es la regeneración ósea guiada en defectos alveolares y periimplantarios, donde la combinación de membranas e injertos está bien establecida (4). En las fisuras alveolares, los sustitutos del injerto autólogo se han evaluado en humanos, pero la heterogeneidad de los estudios impide recomendar un material concreto (8). La exploración de fuentes alternativas de materias primas, como los organismos marinos, puede contribuir a reducir costos y a mejorar la sostenibilidad de la producción (13).

La elección del biomaterial en la práctica odontológica debe considerar, además de sus propiedades, el tipo de defecto, la necesidad de estabilidad mecánica, el tiempo previsto hasta la colocación de implantes y el costo. Los sustitutos de lenta reabsorción ayudan a mantener el volumen del reborde, mientras que los de reabsorción rápida se sustituyen antes por hueso nuevo; ambos pueden combinarse con hueso autólogo para sumar sus ventajas (1,4). Los sistemas que incorporan factores osteoinductivos ofrecen un estímulo biológico adicional, pero su costo y su seguridad a largo plazo condicionan su uso rutinario (3).

El principal obstáculo identificado es la distancia entre el laboratorio y la clínica. La mayoría de los resultados procede de estudios in vitro o en animales, y los ensayos clínicos con biomateriales diseñados son aún escasos y de diseño heterogéneo (7). Afirmaciones sobre tasas de éxito o porcentajes de formación ósea obtenidos en modelos preclínicos no deben extrapolarse directamente a los pacientes.

Esta revisión tiene limitaciones. Es una revisión narrativa basada en un número reducido de documentos, en su mayoría revisiones, sin evaluación formal de la calidad metodológica; por ello, sus conclusiones son descriptivas y no permiten comparar la eficacia clínica de los distintos materiales.

CONCLUSIÓN

Los biomateriales para la regeneración ósea han evolucionado hacia materiales compuestos que combinan la osteoconductividad de las cerámicas y los vidrios bioactivos con la degradabilidad de los polímeros. La impresión tridimensional y la nanotecnología permiten personalizar la forma, la porosidad y las funciones de los injertos, y los hidrogeles facilitan la liberación controlada de moléculas bioactivas. En odontología, su aplicación más

consolidada es la regeneración ósea guiada. Sin embargo, la mayor parte de la evidencia es preclínica, por lo que se necesitan ensayos clínicos bien diseñados antes de generalizar el uso de estos materiales en los pacientes.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

A UNIANDES.

REFERENCIAS

1. Wang W, Yeung KWK. Bone grafts and biomaterials substitutes for bone defect repair: a review. Bioact Mater. 2017;2(4):224-47.
2. Gillman CE, Jayasuriya AC. FDA-approved bone grafts and bone graft substitute devices in bone regeneration. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2021;130:112466.
3. Iaquinta MR, Mazzoni E, Manfrini M, D'Agostino A, Trevisiol L, Nocini R, et al. Innovative biomaterials for bone regrowth. Int J Mol Sci. 2019;20(3):618.
4. Elgali I, Omar O, Dahlin C, Thomsen P. Guided bone regeneration: materials and biological mechanisms revisited. Eur J Oral Sci. 2017;125(5):315-37.
5. Brachet A, Bełżek A, Furtak D, Geworgjan Z, Tulej D, Kulczycka K, et al. Application of 3D printing in bone grafts. Cells. 2023;12(6):859.
6. Burdușel AC, Gherasim O, Andronescu E, Grumezescu AM, Ficai A. Inorganic nanoparticles in bone healing applications. Pharmaceutics. 2022;14(4):770.
7. Lele M, Kapur S, Hargett S, Sureshbabu NM, Gaharwar AK. Global trends in clinical trials involving engineered biomaterials. Sci Adv. 2024;10(29):eabq0997.
8. Osorio CC, Escobar LM, González MC, Gamboa LF, Chambrone L. Evaluation of density, volume, height and rate of bone resorption of substitutes of autologous bone grafts for the repair of alveolar clefts in humans: a systematic review. Heliyon. 2020;6(9):e04646.
9. Vallet-Regi M, Salinas AJ. Mesoporous bioactive glasses for regenerative medicine. Mater Today Bio. 2021;11:100121.
10. Sarin N, Singh KJ, Kaur H, Kaur R, Singh J. Preliminary studies of the effect of doping of chromium oxide in SiO2-CaO-P2O5 bioceramics for bone regeneration applications. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc. 2020;229:118000.
11. Kumari S, Katiyar S, Darshna, Anand A, Singh D, Singh BN, et al. Design strategies for composite matrix and multifunctional polymeric scaffolds with enhanced bioactivity for bone tissue engineering. Front Chem. 2022;10:1051678.

12. Farjaminejad S, Farjaminejad R, Hasani M, Garcia-Godoy F, Abdouss M, Marya A, et al. Advances and challenges in polymer-based scaffolds for bone tissue engineering: a path towards personalized regenerative medicine. Polymers (Basel). 2024;16(23):3303.
13. Romano G, Almeida M, Varela Coelho A, Cutignano A, Gonçalves LG, Hansen E, et al. Biomaterials and bioactive natural products from marine invertebrates: from basic research to innovative applications. Mar Drugs. 2022;20(4):219.
14. Villani C, Murugan P, George A. Exosome-laden hydrogels as promising carriers for oral and bone tissue engineering: insight into cell-free drug delivery. Int J Mol Sci. 2024;25(20):11092.
15. Zhang H, Wang Y, Qiang H, Leng D, Yang L, Hu X, et al. Exploring the frontiers: the potential and challenges of bioactive scaffolds in osteosarcoma treatment and bone regeneration. Mater Today Bio. 2024;29:101276.

Derechos de autor: 2026 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/