

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i3.1363>

Biomateriales en la reconstrucción ósea de fracturas complejas: ventajas y desventajas

Biomaterials in the Bone Reconstruction of Complex Fractures: Advantages and Disadvantages

Cecilia Alejandra García Ríos

cecilia.garcia@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5179-0303>

Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba, Ecuador

Katy Cecibel Layedra Castañeda

katy.layedra@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-0088-3080>

Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba, Ecuador

Vanessa Lisseth Llango López

vanessa.llango@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-6431-5151>

Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba, Ecuador

Lisbeth Josefina Reales Chacon

lisbeth.reales@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4242-3429>

Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba, Ecuador

Rosa Margarita Rodríguez Guaytoso

rosa.rodriguez@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-6664-0858>

Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba, Ecuador

Artículo recibido: 18 junio 2025 - Aceptado para publicación: 28 julio 2025
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

Las fracturas óseas complejas representan un reto terapéutico debido a la dificultad en lograr una consolidación eficaz y duradera. En este contexto, los biomateriales han emergido como alternativas innovadoras a los injertos óseos tradicionales, ofreciendo diversas opciones para la regeneración tisular. Esta revisión sistemática, basada en 12 estudios seleccionados según el modelo PRISMA, analiza las ventajas y desventajas del uso de biomateriales en la reconstrucción de fracturas complejas. Se evaluaron injertos autólogos estructurados, aloinjertos, xenoinjertos, materiales sintéticos, andamios bioimpresos 3D y terapias con células madre mesenquimales. Como resultado, se identificaron beneficios clave como la reducción del dolor, la mejora funcional,

una consolidación ósea acelerada y menor tasa de complicaciones postoperatorias. Sin embargo, también se identificaron limitaciones importantes como el alto costo, la baja supervivencia celular en algunos casos y la necesidad de estandarización de protocolos. En conclusión, los biomateriales representan una herramienta valiosa en la medicina regenerativa ósea, pero su aplicación debe ser personalizada según el tipo de fractura, condición del paciente y disponibilidad tecnológica.

Palabras clave: regeneración ósea, fracturas óseas, biomateriales, injerto sintético, andamiaje óseo

ABSTRACT

Complex bone fractures pose a therapeutic challenge due to the difficulty in achieving effective and lasting healing. In this context, biomaterials have emerged as innovative alternatives to traditional bone grafts, offering various options for tissue regeneration. This systematic review, based on 12 studies selected according to the PRISMA model, analyzes the advantages and disadvantages of using biomaterials in the reconstruction of complex fractures. The analysis includes structured autografts, allografts, xenografts, synthetic materials, 3D bioprinted scaffolds, and mesenchymal stem cell therapies. Key benefits identified include pain reduction, functional improvement, accelerated bone healing, and fewer postoperative complications. However, limitations such as high cost, low cell survival in some cases, and the need for protocol standardization were also observed. In conclusion, biomaterials represent a valuable tool in bone regenerative medicine, though their application must be tailored to the fracture type, patient condition, and technological availability.

Keywords: Bone regeneration, bone fractures, biomaterials, synthetic graft, bone scaffolding

RESUMO

As fraturas ósseas complexas representam um desafio terapêutico devido à dificuldade de alcançar uma consolidação eficaz e duradoura. Nesse contexto, os biomateriais surgiram como alternativas inovadoras aos enxertos ósseos tradicionais, oferecendo diversas opções para a regeneração tecidual. Esta revisão sistemática, baseada em 12 estudos selecionados segundo o modelo PRISMA, analisa as vantagens e desvantagens do uso de biomateriais na reconstrução de fraturas complexas. Foram avaliados enxertos autólogos estruturados, alógenos, xenógenos, materiais sintéticos, andaimes bioimpressos em 3D e terapias com células-tronco mesenquimais. Entre os principais benefícios identificados estão a redução da dor, melhoria funcional, consolidação óssea acelerada e menor taxa de complicações pós-operatórias. No entanto, também foram observadas limitações importantes, como o alto custo, a baixa sobrevivência celular em

alguns casos e a necessidade de padronização de protocolos. Conclui-se que os biomateriais representam uma ferramenta valiosa na medicina regenerativa óssea, devendo sua aplicação ser personalizada conforme o tipo de fratura, condição do paciente e disponibilidade tecnológica.

Palavras chave: regeneração óssea, fraturas ósseas, biomateriais, enxerto sintético, andaime ósseo

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

Las fracturas óseas complejas constituyen un desafío clínico considerable debido a la dificultad para restaurar la integridad estructural y funcional del hueso afectado(1). Estas lesiones, comúnmente asociadas a traumatismos de alta energía, enfermedades metabólicas o intervenciones quirúrgicas extensas, presentan una fisiopatología caracterizada por una respuesta inflamatoria inicial, seguida de procesos de reparación que pueden verse alterados por factores como la magnitud del defecto óseo, la vascularización insuficiente y la presencia de comorbilidades(2).

La incapacidad del organismo para regenerar adecuadamente el tejido óseo en estos casos puede conducir a complicaciones como pseudoartrosis, infecciones y pérdida funcional, lo que deteriora significativamente la calidad de vida del paciente(2).

Ante esta problemática, la reconstrucción ósea mediante biomateriales se ha consolidado como una estrategia terapéutica clave. Estos materiales, diseñados para interactuar con sistemas biológicos, tienen como finalidad reemplazar o regenerar tejidos dañados. En ortopedia, su uso busca proporcionar soporte estructural temporal que favorezca procesos como la osteogénesis, la osteoinducción y la osteoconducción, promoviendo así la formación de nuevo tejido óseo(3).

Dentro de las opciones disponibles, los injertos óseos autólogos se consideran el estándar de oro por su capacidad para aportar células osteogénicas y factores de crecimiento. No obstante, su disponibilidad limitada y la morbilidad del sitio donante restringen su uso clínico(4). Los aloinjertos, obtenidos de donantes humanos, reducen este riesgo, pero implican desafíos relacionados con su integración y la posible transmisión de enfermedades. Por su parte, los xenoinjertos, derivados de especies animales, son abundantes, pero presentan mayor riesgo de rechazo inmunológico y menor capacidad de integración(4).

El desarrollo de biomateriales sintéticos ha ampliado el abanico de posibilidades terapéuticas. Estos incluyen cerámicas bioactivas, polímeros biodegradables y compuestos híbridos, diseñados para imitar las propiedades mecánicas y biológicas del hueso natural. Su versatilidad permite adaptarlos a defectos específicos y, al tratarse de productos manufacturados, disminuyen los riesgos inherentes a los injertos biológicos. Sin embargo, algunos presentan limitaciones en cuanto a su capacidad osteoinductiva y su integración tisular(5).

La elección del biomaterial más adecuado depende de diversos factores, como el tamaño y la localización del defecto óseo, las condiciones clínicas del paciente y los objetivos terapéuticos. Estudios recientes indican que los biomateriales sintéticos se utilizan en aproximadamente el 40 % de las reconstrucciones óseas, seguidos por los autoinjertos (30 %) y los aloinjertos (25 %), mientras que el resto corresponde a técnicas combinadas o emergentes(2).

El presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura científica reciente, con el fin de analizar las ventajas y desventajas de los diferentes biomateriales

empleados en la reconstrucción ósea de fracturas complejas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló una revisión sistemática de tipo cuantitativo, observacional, transversal y retrospectivo, con el objetivo de identificar las ventajas y desventajas del uso de biomateriales en la reconstrucción ósea de fracturas complejas. La investigación se fundamentó en la recopilación y análisis de literatura científica publicada entre enero de 2019 y marzo de 2025.

Se incluyeron artículos escritos en inglés y español, disponibles en texto completo en formato PDF, que abordaran específicamente el uso de biomateriales en la regeneración ósea. Los tipos de estudios seleccionados abarcaron ensayos clínicos, estudios experimentales, revisiones sistemáticas y metaanálisis. Se excluyeron artículos duplicados, aquellos con deficiencias metodológicas y los que no aportaron resultados concluyentes sobre el tema.

La búsqueda se realizó de forma electrónica en bases de datos biomédicas reconocidas: SciELO, PubMed, DynaMed, Science Direct y Google Académico. Se emplearon operadores booleanos (AND, OR) y términos MeSH en español e inglés: biomaterials, bone regeneration, fracture healing, bone substitute, synthetic graft, scaffold, regeneración ósea, fracturas óseas, biomateriales, injerto sintético y andamiaje óseo.

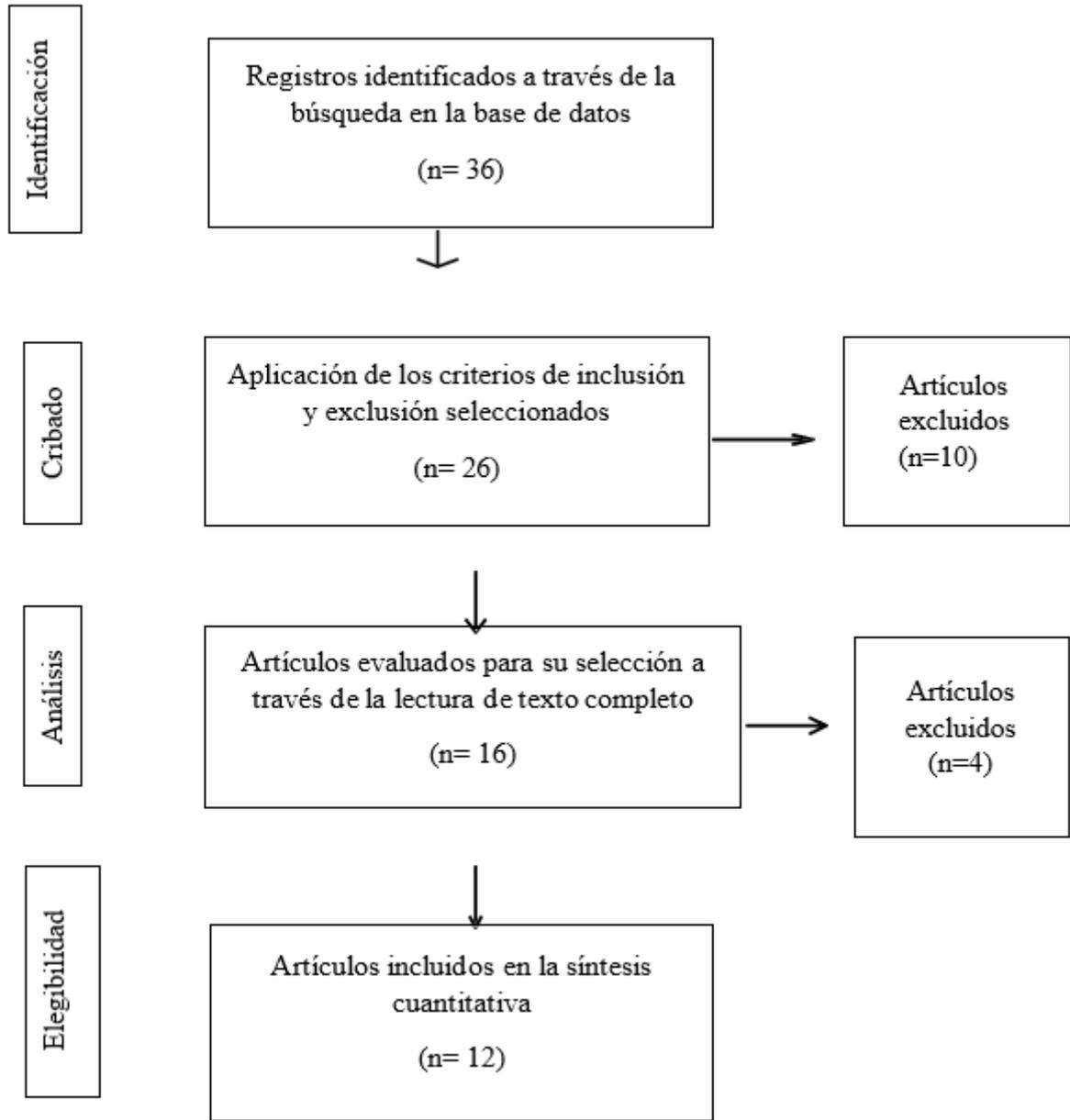
La selección de los artículos se llevó a cabo en tres etapas: revisión del título, análisis del resumen y lectura crítica del texto completo. Los estudios seleccionados debían contener información sobre beneficios, limitaciones, tiempo de recuperación, efectos adversos y comparaciones con otros tipos de biomateriales.

Desde el punto de vista ético, esta revisión respetó los principios de integridad científica, transparencia y responsabilidad. Se garantizó la correcta citación de las fuentes mediante el uso del gestor bibliográfico Mendeley (formato RIS), lo que permitió evitar el plagio y asegurar la trazabilidad de la información utilizada. Al tratarse de una revisión documental sin intervención directa sobre seres humanos, no fue necesario el consentimiento informado. No obstante, se respetaron criterios de confidencialidad y confiabilidad en la gestión de los datos consultados.

Para asegurar la transparencia del proceso, se aplicó el modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). En el diagrama de flujo PRISMA (Figura 1), se detalla que, de un total de 36 artículos identificados inicialmente, y tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 12 estudios para el análisis final en la síntesis cuantitativa.

Figura 1

Diagrama de flujo de selección de los estudios PRISMA



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

ARTÍCULO	METODOLOGÍA	RESULTADOS	CONCLUSIONES	APORTES
<p>Título: Comparación de dos técnicas de injerto óseo autólogo para tratar la pseudoartrosis atrófica de la diáfisis media de la clavícula: un estudio retrospectivo</p> <p>Autor: Teng Ma, Qiang Huang, Chaofeng Wang, Cheng Ren, Yibo Xu, Hua Lin, Kun Zhang, Congming Zhang, Zhao Li</p> <p>Año: 2025</p> <p>País: China (Hospital Honghui, Universidad Jiaotong de Xi'an)</p>	<p>Diseño del estudio: Estudio retrospectivo comparativo</p> <p>Palabras clave: Injerto óseo autólogo, pseudoartrosis atrófica, revisión quirúrgica, placa superior</p> <p>Población: 62 pacientes con pseudoartrosis atrófica de clavícula media tratados quirúrgicamente entre 2012 y 2021. 32 pacientes con injerto óseo granular autólogo (ACGBG) + placa superior (ACSBG) + placa superior (SP)</p> <p>Instrumentos de evaluación: Escala visual</p>	<p>Ambos grupos mostraron mejoría significativa en dolor (VAS) y funcionalidad (DASH) a los 9 meses postoperatorios.</p> <p>El grupo con injerto estructurado (ACSBG) presentó mejores resultados a los 3 y 6 meses: Menor dolor (VAS), Mayor funcionalidad (DASH), Consolidación ósea más rápida (15.2 semanas frente a 18.6 semanas en ACGBG). La tasa de complicaciones fue baja y similar entre ambos grupos (~10%). Una fractura de placa en el grupo ACGBG fue corregida</p>	<p>El injerto óseo estructurado autólogo (ACSBG) con fijación mediante placa superior ofrece mejores resultados tempranos que el injerto granular (ACGBG). Se obtiene una consolidación más rápida y menor dolor postoperatorio. Es una alternativa efectiva y segura para el tratamiento quirúrgico de la pseudoartrosis atrófica de la clavícula.</p>	<p>Soporta el uso de biomaterial autólogo estructurado como injerto efectivo en fracturas complejas.</p> <p>Destaca que el diseño del injerto (estructurado vs granular) influye en la consolidación, funcionalidad y dolor.</p> <p>Muestra que una mejor estabilidad mecánica favorece la osteointegración y rehabilitación temprana. Sirve como punto de comparación con biomateriales sintéticos o aloinjertos, ayudando a valorar ventajas y desventajas en términos de</p>

análoga (VAS) para medir el dolor. Cuestionario DASH (Disability of Arm, Shoulder and Hand) para evaluar funcionalidad

Criterios de inclusión: Edad entre 18 y 65 años. Diagnóstico de pseudoartrosis atrófica de clavícula media con más de 3 meses sin consolidación. Necesidad de intervención quirúrgica por dolor o inestabilidad

Criterios de exclusión: Menores de 18 años o mayores de 65. Tratados con clavos intramedulares o fijación externa

Infección local crónica, enfermedades metabólicas, uso de esteroides, enfermedades inmunológicas o cardiovasculares graves.

Seguimiento menor a 1 año

exitosamente con la técnica ACSBG(6).

eficacia, complicaciones y resultados clínicos.

Reafirma que los injertos óseos autólogos estructurados tienen propiedades osteoconductoras y osteoinductoras superiores.

<p>Título: Células madre y preparaciones acelulares en la regeneración ósea / curación de fracturas: terapias actuales y direcciones futuras</p> <p>Autor: Marcel G. Brown, Davis J. Brady, Kelsey M. Healy, Kaitlin A. Henry, Ayobami S. Ogunsola, Xue Ma</p> <p>Año: 2024</p> <p>País: Estados Unidos (Wake Forest University School of Medicine, Carolina del Norte)</p>	<p>Diseño del estudio: Revisión narrativa sistematizada</p> <p>Palabras clave: Células madre, regeneración ósea, curación de fracturas</p> <p>Población: No aplica (revisión de literatura científica sobre humanos y modelos animales)</p> <p>Instrumentos: Revisión de artículos experimentales y clínicos (in vitro, in vivo, ensayos clínicos)</p> <p>Criterios de inclusión/exclusión: Estudios relevantes sobre células madre pluripotentes, multipotentes y preparaciones acelulares relacionadas con regeneración ósea</p>	<p>Las células madre pluripotentes (embrionarias e inducidas) y multipotentes (MSC, HSC, SSC) tienen potencial para regenerar hueso por diferenciación directa o señalización paracrina.</p> <p>Las MSC derivadas de médula ósea (BM-MSC) siguen siendo el estándar de oro por su capacidad osteogénica.</p> <p>Las células madre de tejido adiposo (AT-MSC) son más fáciles de recolectar, pero tienen menor capacidad osteogénica comparativa.</p> <p>Las preparaciones acelulares (secretomas, vesículas extracelulares) también promueven regeneración ósea sin necesidad de injerto celular.</p> <p>Los estudios clínicos muestran eficacia de MSC en defectos</p>	<p>La terapia con células madre y productos acelulares representa una vía prometedora para la curación de fracturas complejas.</p> <p>La señalización paracrina puede ser tan eficaz como la integración celular directa. Aún se necesita estandarización, caracterización molecular y más estudios clínicos para su adopción generalizada.</p>	<p>Justifica el uso de biomateriales combinados con células madre como alternativa eficaz al injerto óseo tradicional.</p> <p>Expone cómo los andamiajes biomiméticos mejoran la integración y osteogénesis.</p> <p>Describe las ventajas comparativas de diferentes fuentes celulares (médula ósea, grasa, cordón umbilical).</p> <p>Introduce una tendencia relevante: el uso de preparaciones acelulares, que eliminan riesgos inmunológicos y éticos.</p> <p>Sustenta científicamente que el éxito en regeneración ósea no depende solo del tipo celular, sino del microambiente bioactivo del biomaterial.</p>
---	---	---	---	---

mandibulares, cadera, columna y fracturas largas.

Las terapias con MSC se han combinado exitosamente con biomateriales como fosfato tricálcico (β -TCP), hidroxiapatita y andamiajes Colágenos.

Título: Terapia con células madre mesenquimales para el tratamiento de fracturas
Diseño del estudio: Revisión sistemática y metaanálisis

Tasa de consolidación ósea total: 3 meses: 44%. 6 meses: 73%. 9 meses: 90%.

La terapia con células madre mesenquimales (MSC), sola o combinada con biomateriales tipo evidencia sólida del beneficio de combinar MSC con biomateriales estructurales (andamios).

<p>con pseudoartrosis: revisión sistemática y metaanálisis</p> <p>Autor: Cunbao Cui, Feng Lin, Liang Xia, Xinguang Zhang</p> <p>Año: 2025</p> <p>País: China</p>	<p>Palabras clave: Células madre mesenquimales, pseudoartrosis, consolidación ósea, metaanálisis</p> <p>Población: 866 pacientes con fracturas con pseudoartrosis</p> <p>Instrumentos: Tasa de consolidación ósea. Tiempo de consolidación. Complicaciones. Evaluación de calidad metodológica (Jadad, NOS, GRADE)</p> <p>Criterios de inclusión: Pacientes con pseudoartrosis tratados con MSC (con o sin andamiaje). Estudios clínicos con mínimo 3 meses de seguimiento. Comparador: injerto óseo autólogo en estudios controlados</p>	<p>12 meses: 86%. Más de 12 meses: 91%</p> <p>Comparación MSC vs. injerto óseo: Mayor tasa de consolidación con MSC a los 3 y 6 meses (OR = 1.69)</p> <p>Reducción significativa en el tiempo de consolidación con MSC/andamiaje (5.85 meses) comparado con MSC solo (6.36 meses) y estándar (7.78 meses).</p> <p>Reducción significativa en el tiempo total de consolidación (SMD: -0.54 meses)</p> <p>Complicaciones: Global: 1%. MSC + andamiaje: 0%. MSC solo: 2%. Estándar (injerto óseo): 8%. MSC reduce significativamente las complicaciones (OR = 0.41)</p>	<p>andamiaje, mejora la tasa de curación, acorta el tiempo de consolidación y disminuye las complicaciones en comparación con los injertos óseos convencionales. Es una terapia prometedora para fracturas con pseudoartrosis(7).</p>	<p>Apoya la ventaja de biomateriales que actúan como vehículos celulares osteoinductivos.</p> <p>Comparación directa con el injerto óseo tradicional (pilar del estándar terapéutico).</p> <p>Muestra que el uso de biomateriales con MSC reduce significativamente tiempo de consolidación y riesgo de complicaciones, especialmente infecciones. Refuerza la necesidad de estrategias regenerativas en fracturas complejas y no consolidantes, particularmente en poblaciones envejecidas o con comorbilidades.</p>
---	---	--	---	---

	Criterios de exclusión:			
	Estudios en animales o in vitro.			
	Estudios con BMAC sin concentración de MSC.			
	Estudios sin texto completo o sin resultados relevantes			
Título: Terapias con células madre y regenerativas para el tratamiento de fracturas por compresión vertebral osteoporótica	Diseño del estudio: Revisión científica sistemática (no experimental directa).	Las MSC muestran alto potencial regenerativo: pueden diferenciarse en células óseas, secretar factores de crecimiento y modular la inflamación. Estudios preclínicos: mejoraron la masa ósea, la arquitectura trabecular y la fusión espinal en modelos animales.	Las terapias regenerativas basadas en MSCs y biomateriales ofrecen una estrategia avanzada y eficaz para la reconstrucción ósea en fracturas complejas, como las vertebrales osteoporóticas. Superan las limitaciones de tratamientos actuales como la vertebroplastia, que no regeneran hueso.	Ventajas: Regeneración ósea real (no solo estabilización). Mejora de la calidad ósea y reducción del colapso vertebral. Reducción del dolor y mejora funcional. Andamios biocompatibles permiten localización específica del tratamiento.
Autor: Songzi Zhang, Yunhwan Lee, Yanting Liu, Yerin Yu, Inbo Han	Palabras clave: Osteoporosis, fractura por compresión vertebral osteoporótica, célula madre, regeneración ósea.	Estudio clínico: los pacientes tratados con MSCs y teriparatida tuvieron mejoras en el dolor, la	Se requieren más estudios clínicos para estandarizar dosis, vías de	Potencial combinación con factores de crecimiento y modificación genética. Alternativas menos invasivas a cirugías tradicionales.
Año: 2024	Población estudiada: Humanos: ensayo clínico con 20 pacientes con fractura vertebral osteoporótica tratados con células madre			
País: Corea del Sur	derivadas de gelatina de			

<p>Wharton (WJ-MSCs). Animales: estudios preclínicos en ratas, conejos, ovejas, perros, cabras y mini cerdos con osteoporosis o fracturas vertebrales inducidas. Instrumentos: Búsqueda en bases de datos científicas (PubMed) con las palabras clave mencionadas. Evaluación de resultados clínicos, imagenológicos y funcionales. Criterios de inclusión/exclusión: Incluidos estudios centrados en el uso de células madre mesenquimales (MSC), biomateriales y tratamientos regenerativos en fracturas osteoporóticas. No se especifican criterios de exclusión explícitos.</p>	<p>función física y la calidad del hueso. Los biomateriales (andamios) como tricalcio fosfato, hidroxiapatita, aleaciones porosas de titanio y geles de alginato, facilitaron la entrega de células madre al sitio de fractura y promovieron la formación ósea. Se reporta el uso exitoso de exosomas derivados de MSCs, los cuales promueven osteogénesis, angiogénesis y tienen menor riesgo inmunológico(8).</p>	<p>administración, materiales portadores y evaluar seguridad a largo plazo. Existen riesgos como embolia pulmonar, baja tasa de supervivencia celular post-trasplante y dificultades en la producción a gran escala.</p>	<p>Desventajas y desafíos: Alto costo de producción de células madre. Riesgos médicos como embolias o respuesta inmune. Dificultad en asegurar que las células lleguen al sitio correcto (baja tasa de "homing"). Variabilidad de respuesta entre pacientes. Producción y almacenamiento de exosomas aún en fase experimental. Limitada evidencia clínica robusta en humanos.</p>
---	---	--	--

<p>Título: Scaffold Application for Bone Regeneration with Stem Cells in Dentistry: Literature Review</p> <p>Autor: Elham Saberian, Andrej Jenča, Yaser Zafari, Janka Jenčová, Adriána Petrášová, Hadi Zare- Zardini</p> <p>Año: 2024</p> <p>País: Eslovaquia, Estados Unidos, Irán</p> <p>Revista: Cells, MDPI, Volumen 13, Artículo 1065</p>	<p>Tipo de estudio: Revisión de literatura</p> <p>Diseño del estudio: Narrativo, con análisis crítico de investigaciones previas</p> <p>Palabras Clave: Bone regeneration, stem cells, scaffold, tissue engineering, dental applications.</p> <p>Población estudiada: Estudios previos que usaron andamiajes (scaffolds) y células madre para regeneración ósea en odontología.</p>	<p>Se identificaron múltiples tipos de scaffolds (naturales, sintéticos, compuestos) utilizados con diferentes tipos de células madre.</p> <p>Los estudios demostraron que la combinación de células madre mesenquimales (MSC) y andamios favorece la regeneración ósea.</p> <p>Se evaluaron materiales como hidroxapatita, colágeno, gelatina, policaprolactona, y otros en</p>	<p>El uso combinado de scaffolds y células madre es prometedor en la regeneración de tejidos óseos dentales.</p> <p>La ingeniería de tejidos basada en células madre representa una estrategia eficaz para tratar defectos óseos maxilofaciales.</p> <p>Se requieren más estudios para estandarizar materiales, evaluar seguridad y eficacia a largo plazo y superar desafíos técnicos(9).</p>	<p>Revisión exhaustiva del estado actual de la bioingeniería ósea con scaffolds y células madre en odontología.</p> <p>Sistematización de tipos de materiales, tipos celulares y resultados funcionales.</p> <p>Plantea bases para investigaciones futuras con enfoques personalizados, 3D-bioprinting, terapias génicas y biomateriales inteligentes.</p>
---	---	--	--	--

<p>Instrumentos: Revisión sistemática de artículos científicos; análisis de características de scaffolds y tipos celulares usados.</p> <p>Criterios de inclusión: Artículos relevantes sobre aplicaciones de scaffolds y células madre en regeneración ósea dental. Criterios de exclusión: No detallados explícitamente; implícitamente excluye estudios irrelevantes o de baja calidad científica.</p>	<p>combinación con DPSCs, SHED, ADSCs, etc.</p> <p>Algunos scaffolds mostraron propiedades antibacterianas, osteoconductoras y biocompatibles que mejoraron los resultados clínicos.</p>
---	--

<p>Título: Bone Regeneration with Mesenchymal Stem Cells in Scaffolds: Systematic Review of Human Clinical Trials.</p>	<p>Diseño de estudio: Revisión sistemática de ensayos clínicos en humanos.</p> <p>Palabras clave: Bone regeneration, mesenchymal</p>	<p>Se incluyeron 18 ensayos clínicos. Las MSCs más utilizadas fueron derivadas de médula ósea y tejido adiposo.</p>	<p>El uso de MSCs combinadas con andamios es prometedor para regenerar tejido óseo humano. Brinda una revisión exhaustiva y actualizada de la evidencia clínica sobre el uso de MSCs y andamios.</p>
---	--	---	--

<p>Autores:</p> <p>Astero Maria Theodosaki, Maria Tzemi, Nikiforos Galanis, Athina Bakopoulou, Eleni Kotsiomi, Eleni Aggelidou, Aristeidis Kritis</p> <p>Año: 2024</p> <p>País: Grecia (afiliaciones mayoritarias)</p> <p>Revista: <i>Stem Cell Reviews and Reports</i>, Springer.</p>	<p>stem cells, scaffold, clinical trials, dentistry.</p> <p>Población estudiada: Pacientes humanos participantes en ensayos clínicos que utilizaron MSCs con andamios para regeneración ósea.</p> <p>Instrumentos: Análisis crítico de literatura, criterios PRISMA, búsqueda en bases de datos (PubMed, Scopus, Web of Science).</p> <p>Criterios de inclusión: Ensayos clínicos en humanos con MSCs + scaffolds para regeneración ósea publicados hasta septiembre de 2023.</p> <p>Criterios de exclusión: Estudios en animales, estudios in vitro, estudios sin resultados clínicos claros.</p>	<p>Se utilizaron andamios de diversos materiales: colágeno, hidroxiapatita, biocerámicos, compuestos. La mayoría de los estudios mostraron mejoras clínicas significativas en regeneración ósea. Los resultados fueron variables según el tipo de célula, material del andamio y localización anatómica(7).</p>	<p>Aún se requiere estandarización de protocolos, estudios más amplios y seguimiento a largo plazo. Se recomienda desarrollar materiales más biocompatibles, mejorar la vascularización e integración tisular.</p> <p>Resalta brechas en el conocimiento y la necesidad de mejores metodologías. Apoya la implementación futura de terapias regenerativas en la práctica clínica odontológica y médica.</p>
--	---	---	--

<p>Título: Cross-Bridge-Free Vascularized Fibular Graft for Reconstruction of Extensive Traumatic Tibial Defects.</p> <p>Autores: Tarek Abdalla El-Gammal, Amr El-Sayed, Mohamed Mostafa Kotb, Waleed Riad Saleh, Yasser Farouk Ragheb, Mohamed Mohamed Morsy, Yousif Tarek El-Gammal, Mahmoud Mohammed Saad, Omar Ahmed Refai.</p> <p>Año: 2025</p> <p>País: Egipto (mayoría); también Estados Unidos (coautoría desde</p>	<p>Diseño del estudio: Serie de casos prospectiva (n = 8 pacientes).</p> <p>Palabras clave: Vascularized fibular graft, tibial defect, bone reconstruction, microsurgery.</p> <p>Población estudiada: 8 pacientes con defectos traumáticos extensos de tibia tratados entre 2020 y 2022 en Egipto.</p> <p>Instrumentos: Evaluación clínica, radiográfica (rayos X, tomografía), técnica quirúrgica de injerto fibular vascularizado sin puente de hueso.</p>	<p>Todos los injertos fibulares se integraron exitosamente sin necesidad de puente óseo adicional.</p> <p>El tiempo promedio de consolidación fue de 5,6 meses. No hubo fallos del injerto ni complicaciones mayores.</p> <p>Todos los pacientes recuperaron función ambulatoria adecuada, con apoyo completo del miembro(10).</p>	<p>El injerto fibular vascularizado libre sin puente óseo representa una técnica segura, eficaz y funcionalmente exitosa para la reconstrucción de defectos tibiales extensos postraumáticos.</p> <p>La técnica permite evitar la complejidad de la fijación cruzada entre segmentos óseos, facilitando una integración más natural.</p>	<p>Propone una modificación técnica relevante al uso tradicional del injerto fibular vascularizado.</p> <p>Demuestra efectividad clínica sin necesidad de crear puentes óseos, reduciendo complicaciones y tiempos quirúrgicos.</p> <p>Contribuye a la reconstrucción funcional en contextos de trauma severo, especialmente útil en entornos con recursos limitados.</p>
---	--	--	--	---

universidades en Florida, Alabama y Kentucky).
Revista: *Journal of Reconstructive Microsurgery Open*, Thieme.
Criterios de inclusión: Pacientes con defecto diafisario tibial >6 cm, buena salud general, adecuados vasos receptores. **Criterios de exclusión:** Pacientes con comorbilidades que comprometan la cirugía, mala vascularización distal, defectos no traumáticos.

<p>Título: Short term (at least one year) follow up of free vascularized Fibular graft in the reconstruction of long bone defect.</p> <p>Autores: Ahmed M. Kamel, Abdelsalam A. Ahmed, Amr S. Algazzar, Zahed S. Mohammed</p> <p>Año: 2024</p>	<p>Diseño del estudio: Estudio clínico observacional retrospectivo de seguimiento a corto plazo (mínimo un año).</p> <p>Palabras clave: Vascularized fibular graft, long bone defect, reconstruction, microsurgery.</p>	<p>La mayoría de los pacientes mostró consolidación ósea satisfactoria dentro del primer año.</p> <p>Hubo complicaciones mínimas, como infecciones superficiales y retraso parcial en la unión ósea en algunos casos(11).</p> <p>Todos los pacientes lograron soporte funcional adecuado en el segmento reconstruido.</p>	<p>El injerto libre vascularizado de peroné es una opción segura y efectiva para la reconstrucción de grandes defectos óseos.</p> <p>Proporciona buenos resultados funcionales y estructurales en el corto plazo, con bajo índice de complicaciones.</p>	<p>Confirma la viabilidad del injerto fibular vascularizado como técnica de reconstrucción ósea.</p> <p>Contribuye a la literatura con datos clínicos egipcios sobre el éxito temprano de esta técnica.</p> <p>Sienta las bases para estudios con seguimiento a</p>
---	---	---	--	---

País: Egipto	Palabras clave: Pacientes con defectos óseos largos sometidos a injerto vascularizado de peroné en el Hospital Universitario de Benha.	largo plazo o comparaciones con otras técnicas reconstructivas.
Revista: <i>Benha Journal of Applied Sciences (BJAS)</i> , Vol. 9, No. 6, pp. 109–115	Instrumentos: Evaluación clínica postoperatoria, estudios radiológicos de integración y consolidación ósea.	
	Criterios de inclusión: Pacientes con defectos óseos largos tratados con injerto libre vascularizado de peroné.	
	Criterios de exclusión: No especificados explícitamente.	

<p>Título: Transferencia libre de peroné vascularizado en uno o dos cañones. Técnica para la reconstrucción de defectos óseos segmentarios después de una resección oncológica o pérdida ósea postraumática.</p> <p>Autores: Kevin Bienger, Vladimiro Stefan y colaboradores</p> <p>Año: 2024</p> <p>País: Alemania, Rumania</p>	<p>Estudio de cohorte retrospectivo. El estudio incluyó a 8 pacientes varones con una media de edad de 31 años (rango de 17 a 56 años), que presentó un defecto óseo sustancial después de una cirugía libre de tumor, resección de márgenes, osteomielitis o fractura con atrofia no sindicalizados. Se recogieron muestras de la herida para detectar bacterias, cultivo y antibiograma, análisis de sangre incluido proteína C reactiva, velocidad de sedimentación globular y procalcitonina y se realizó un examen histopatológico para determinar el tumor.</p>	<p>El nivel de dolor fue bajo tanto antes como después de la operación. Se redujo el tiempo total de la intervención en 198 +/- 20 minutos, en comparación a otros casos. No se registró trombosis arterial ni venosa del pedículo arterial(12).</p>	<p>El injerto peroneo vascularizado libre (FVFG) desempeña un papel crucial en defectos óseos por lo que es una alternativa viable y en algunos casos mejor, para la reconstrucción de defectos óseos en comparación con el hueso no vascularizado, por su superior capacidad de reconstrucción, rápida consolidación y aceptable morbilidad en la zona del donante. El empleo de técnicas de doble cañón ofrece una alternativa estable para defectos grandes, especialmente en zonas de carga de huesos tubulares grandes</p>	<p>Da un nivel de dolor bajo, se adaptable, tiene capacidad de reconstrucción y una rápida consolidación.</p>
--	---	--	---	---

Título: Reconstrucción de un
extenso segmento del eje radial
por defecto óseo por vascularización
de un injerto de hueso impreso en 3D

Autores: Philipp Mommsen,
Vicent März y colaboradores

Año: 2024

País: Alemania

Informe de caso: Paciente de 46
años que sufrió una lesión de
metralleta con amputación
traumática del muslo y fractura
de defecto del eje radial abierto
de tercer grado en el lado
derecho.

Hubo una posición precisa del
implante con la articulación y
una vascularización adecuada
del injerto(12).

Presenta un enfoque innovador
y prometedor para la
restauración de defectos óseos
extensos.

No existe rechazo ante este tipo
de material ya que hay una
buena vascularización y puede
ser usado en defectos óseos
extensos.

Título: El uso de injertos de hueso
estructural para defectos de
hueso de la cavidad glenoidea en
la artroplastia inversa de
hombro

Autores: Helen Ingoe, Kristine
Italia, Luke
Gilliland y colaboradores

Los datos de los pacientes
fueron recopilados
prospectivamente desde agosto
de 2016 hasta diciembre de
2022. Se incluyeron a los que
se habían sometido a la RSA
con injerto glenoideo

Tasa de curación del 92%,
estabilizando la línea articular y
la bóveda, no hubo morbilidad
en el donante y tuvo beneficios
tanto para el paciente como el
sistema de salud(13).

Según sus hallazgos sugieren
que los aloinjertos estructurales
de la cabeza femoral son una
opción viable para grandes
defectos glenoideos cuando los
autoinjertos humerales no
están disponibles o de bajo

Evidencia una buena curación,
disponibilidad y sobre todo con
costos accesibles para los
pacientes y las casas de salud.

Año: 2024	utilizando un aloinjerto	tamaño y calidad. El uso de	
País: Australia	estructural, se excluyeron los que tenían menos de 6 meses de seguimiento clínico o radiológico.	injertos compuestos ha demostrado excelentes resultados clínicos, con una tasa de resorción de 8%	
	Es un tipo de estudio observacional donde analizaron angio-tomografías axiales computarizadas de 2018 al 2023 del departamento de radiología. Se incluyeron estudios de pacientes entre 18-75 años, estudios realizados en el departamento de radiología e intervencionismo de Hospital Universitario “Dr. José González” y estudios realizados entre los años 2019 y 2023	En el miembro superior, el olécranon tiene más cantidad y mayor Densidad mineral ósea que el Radio distal. En cuanto el miembro inferior la T, se demostró que tiene mayor cantidad de autoinjerto, sin embargo, la densidad mineral ósea es más baja(14).	La tibia proximal ofrece más cantidad de autoinjerto y en el miembro superior el olecranon Demuestra en que miembros tanto inferior como superior existe más cantidad de autoinjertos.
Título: Análisis volumétrico por medio de Tomografía Axial Computarizada (TAC) en sitios de obtención de autoinjerto óseo del miembro superior e inferior.			
Autor: Gregorio Villareal			
Año: 2024			

Y se excluyeron estudios
incompletos, estudios con
patologías metabólicas en el
miembro a estudiar, estudios
con evidencia de material de
osteosíntesis en el miembro a
estudiar, estudios con patología
oncológica y con evidencia de
fracturas o
antecedente de fracturas

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática evidencian que los biomateriales representan una alternativa eficaz y segura en la reconstrucción ósea de fracturas complejas. En comparación con los injertos tradicionales, presentan múltiples ventajas clínicas y técnicas, aunque también conllevan ciertos desafíos que deben ser considerados al momento de seleccionar la estrategia terapéutica más adecuada(7).

El estudio de Teng Ma et al. (2025) demostró que los injertos óseos autólogos estructurados proporcionan una consolidación más rápida, menor dolor postoperatorio y mejor funcionalidad que los injertos granulares. Este hallazgo reafirma la importancia del diseño y la estabilidad mecánica del biomaterial en la osteointegración, elementos clave en defectos que requieren alta resistencia estructural(6).

En concordancia con estos resultados, el metaanálisis de Cunbao Cui et al. (2025) resaltó que la combinación de células madre mesenquimales (MSC) con andamios osteoconductores no solo aumenta la tasa de consolidación ósea, sino que también reduce significativamente las complicaciones postquirúrgicas. Esto sugiere que la incorporación de componentes celulares bioactivos en los biomateriales potencia la regeneración mediante mecanismos directos (diferenciación celular) e indirectos (señalización paracrina)(8).

De manera complementaria, los trabajos de Marcel G. Brown et al. y Songzi Zhang et al. (2024) introducen el uso de preparaciones acelulares, como exosomas y secretomas derivados de MSC, como alternativas prometedoras con menor riesgo inmunológico y mayor estabilidad. Estas estrategias innovadoras expanden el horizonte de la medicina regenerativa, permitiendo la personalización terapéutica sin necesidad de manipulación celular directa(10).

No obstante, también se identificaron limitaciones importantes en el uso de estos biomateriales. Entre ellas, destacan el alto costo de producción, la variabilidad en la respuesta clínica entre pacientes y la baja supervivencia celular en algunos entornos. Además, persiste la necesidad de estandarizar protocolos de fabricación, administración y seguimiento clínico, especialmente en terapias avanzadas como la bioimpresión 3D o el uso combinado con factores de crecimiento(11).

Los estudios sobre injertos vascularizados, como los realizados por El-Gammal y Mommsen, demuestran que técnicas quirúrgicas basadas en tejido autólogo o biomaterial impreso permiten una integración funcional y anatómica eficaz, especialmente en defectos óseos extensos o en zonas de carga. La incorporación de vascularización ya sea natural o inducida, ha mostrado ser un factor determinante en el éxito de estas reconstrucciones(10).

En conjunto, la evidencia revisada destaca que la elección del biomaterial debe estar basada en una evaluación individualizada que considere la localización del defecto, la extensión de la lesión, el estado general del paciente, la disponibilidad tecnológica y los recursos del entorno

clínico. Aunque los injertos autólogos siguen siendo una opción válida en muchos contextos, las terapias con células madre, andamios bioactivos y tecnologías emergentes ofrecen una alternativa cada vez más sustentada científicamente(12).

CONCLUSIONES

Los biomateriales aplicados en la reconstrucción ósea de fracturas complejas constituyen una herramienta terapéutica valiosa que ha demostrado múltiples beneficios frente a los injertos óseos tradicionales. Entre sus principales ventajas destacan la reducción del dolor postoperatorio, la mejora funcional, una consolidación ósea acelerada y una menor tasa de complicaciones, especialmente cuando se combinan con células madre mesenquimales o componentes bioactivos.

Asimismo, la posibilidad de personalización mediante técnicas como la bioimpresión 3D y el uso de andamios osteoconductores ha permitido una adaptación más precisa a las características del defecto óseo y del paciente. Estas innovaciones ofrecen alternativas efectivas en situaciones clínicas donde los injertos convencionales presentan limitaciones, como en pacientes con comorbilidades o en defectos segmentarios extensos.

Sin embargo, también se identifican limitaciones importantes. Entre ellas, se encuentran el elevado costo de producción, la necesidad de estandarización de protocolos clínicos y tecnológicos, la baja tasa de supervivencia celular en algunos casos y la variabilidad en la respuesta clínica. Además, persisten riesgos asociados como la posibilidad de respuesta inmunológica adversa o eventos tromboembólicos en terapias avanzadas.

La elección del biomaterial más adecuado debe basarse en una evaluación integral que considere el tipo y la localización de la fractura, las condiciones del paciente y la disponibilidad de recursos. Por ejemplo, los injertos estructurados autólogos han mostrado buenos resultados en fracturas diafisarias atróficas, mientras que en defectos vertebrales osteoporóticos se ha evidenciado la efectividad de MSC combinadas con hidroxiapatita o fosfato tricálcico(8). En el ámbito odontológico y maxilofacial, los andamios poliméricos con células madre dentales también han demostrado resultados prometedores.

En conclusión, aunque los injertos autólogos siguen siendo una referencia en cirugía ortopédica, el desarrollo y aplicación de biomateriales regenerativos representa un avance significativo hacia una medicina más personalizada, menos invasiva y con mejores resultados clínicos. Su integración progresiva en la práctica médica dependerá del fortalecimiento de la evidencia científica, la estandarización de su uso y el acceso equitativo a estas tecnologías.

REFERENCIAS

1. Su P, Pei W, Wang X, Ma Y, Jiang Q, Liang J, et al. Exceptional Electrochemical HER Performance with Enhanced Electron Transfer between Ru Nanoparticles and Single Atoms Dispersed on a Carbon Substrate. *Angewandte Chemie - International Edition* [Internet]. 2021 Jul 12 [cited 2025 Jul 13];60(29):16044–50. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33960092/>
2. Guarnizo CAV, Guarnizo CAV, Coronado EAP, Coronado EAP, Uñog AIL, Uñog AIL, et al. Terapias de reconstrucción ósea en fracturas complejas. *Polo del Conocimiento* [Internet]. 2024 Dec 21 [cited 2025 Jul 13];9(12):1803–20. Available from: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/8587>
3. ¿Se pueden emplear materiales sintéticos para reemplazar un hueso dañado? | SEBBM [Internet]. [cited 2025 Jul 13]. Available from: <https://sebbm.es/rincon-del-aula/se-pueden-emplazar-materiales-sinteticos-para-reemplazar-un-hueso-danado/>
4. Sebastián F, Acosta S, Sebastián F, Palacios C. Aloinjerto Óseo Estructural en Cirugía de Salvamento de Extremidades. *The Ecuador Journal of Medicine* [Internet]. 2021 Dec 30 [cited 2025 Jul 13];3(1):46–61. Available from: <https://revistafecim.org/index.php/tejom/article/view/92>
5. García-Lamas L, Sánchez-Salcedo S, Jiménez-Díaz V, Bravo-Giménez B, Cabañas M V., Peña J, et al. Diseño y comparativa de biomateriales para el tratamiento de defectos óseos. Estudio de su comportamiento in vivo en modelo animal de conejo. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* [Internet]. 2023 Jul 1 [cited 2025 Jul 13];67(4):324–33. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1888441522003502>
6. Ma T, Huang Q, Wang C, Ren C, Xu Y, Lin H, et al. Comparing two autologous bone grafting techniques to treat clavicular midshaft atrophic nonunion: a retrospective study. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* [Internet]. 2025 [cited 2025 Jul 13];26:11. Available from: <https://doi.org/10.1186/s10195-025-00828-z>
7. Theodosaki AM, Tzemi M, Galanis N, Bakopoulou A, Kotsiomiti E, Aggelidou · Eleni, et al. Bone Regeneration with Mesenchymal Stem Cells in Scaffolds: Systematic Review of Human Clinical Trials. *Stem Cell Rev Rep* [Internet]. 2015 [cited 2025 Jul 13];20:938–66. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12015-024-10696-5>
8. Zhang S;, Lee Y;, Liu Y;, Yu Y;, Han I, Stem Cell R, et al. Stem Cell and Regenerative Therapies for the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *International Journal of Molecular Sciences* 2024, Vol 25, Page 4979 [Internet]. 2024 May 2 [cited 2025 Jul 13];25(9):4979. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/25/9/4979/htm>
9. Saberian E, Jenča A, Zafari Y, Petrášová A, Zare-Zardini H, Jenčová J. Scaffold Application for Bone Regeneration with Stem Cells in Dentistry: Literature Review. *Cells* 2024, Vol 13,

- Page 1065 [Internet]. 2024 Jun 19 [cited 2025 Jul 13];13(12):1065. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4409/13/12/1065/htm>
10. Abdalla El-Gammal T, El-Sayed A, Kotb MM, Saleh WR, Ragheb YF, Morsy MM, et al. Cross-Bridge Free Vascularized Fibular Graft for Reconstruction of Extensive Traumatic Tibial Defects. 2025 [cited 2025 Jul 13]; Available from: <https://doi.org/>
 11. Gad EH, Kamel Y, Salem TAH, Ali MAH, Sallam AN. Short- and long-term outcomes after Kasai operation for type III biliary atresia: Twenty years of experience in a single tertiary Egyptian center-A retrospective cohort study. *Annals of Medicine and Surgery* [Internet]. 2021 Feb 1 [cited 2025 Jul 13];62:302–14. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33552489/>
 12. Mommsen P, März V, Krezdorn N, Aktas G, Sehmisch S, Vogt PM, et al. Reconstruction of an Extensive Segmental Radial Shaft Bone Defect by Vascularized 3D-Printed Graft Cage. *J Pers Med* [Internet]. 2024 Feb 1 [cited 2025 Jul 13];14(2). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38392611/>
 13. Ingoe H, Italia K, Gilliland L, Kang HW, Karel M, Maharaj J, et al. The Use of Glenoid Structural Allografts for Glenoid Bone Defects in Reverse Shoulder Arthroplasty. *Journal of Clinical Medicine* 2024, Vol 13, Page 2008 [Internet]. 2024 Mar 29 [cited 2025 Jul 13];13(7):2008. Available from: <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/7/2008/htm>
 14. Villarreal Villarreal GA. Análisis volumétrico por medio de tomografía axial computarizada (TAC) en sitios de obtención de autoinjerto óseo del miembro superior e inferior. 2024;
 15. Bienger K, Stefan V, Dragu A, Bota O, Taqatqeh F, Schaser KD, et al. Free vascularized fibula transfer in single- or double-barrel technique for reconstruction of segmental bone defects following oncological resection or posttraumatic bone loss. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW* [Internet]. 2024 [cited 2025 Jul 13];13:Doc07. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39811260/>
 16. Vista de Aloinjerto Óseo Estructural en Cirugía de Salvamento de Extremidades [Internet]. [cited 2025 Jul 13]. Available from: <https://revistafecim.org/index.php/tejom/article/view/92/48>