



## *Terapias de reconstrucción ósea en fracturas complejas*

### *Bone reconstruction therapies in complex fractures*

### *Terapias de reconstrução óssea em fraturas complexas*

Carolina Alejandra Vásquez Guarnizo <sup>I</sup>  
[cvasquez0855@uta.edu.ec](mailto:cvasquez0855@uta.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0005-0844-7645>

Emily Anahi Pachucho Coronado <sup>II</sup>  
[epachucho9592@uta.edu.ec](mailto:epachucho9592@uta.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0009-7287-8537>

Adriana Isabel Lozada Uñog <sup>III</sup>  
[alozada7044@uta.edu.ec](mailto:alozada7044@uta.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0008-0465-3275>

Paulo Fernando Telenchana Chimbo <sup>IV</sup>  
[pf.telenchana@uta.edu.ec](mailto:pf.telenchana@uta.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-0187-4143>

**Correspondencia:** [cvasquez0855@uta.edu.ec](mailto:cvasquez0855@uta.edu.ec)

Ciencias de la Salud  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 12 de octubre de 2024 \* **Aceptado:** 29 de noviembre de 2024 \* **Publicado:** 21 de diciembre de 2024

- I. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

## Resumen

Las fracturas complejas son lesiones óseas que debido a sus características requieren de un manejo multidisciplinario, suelen asociarse a una alta morbilidad y mortalidad, durante el paso de los años han aparecido las terapias de reconstrucción ósea que son procedimientos para restaurar la forma y funcionalidad del hueso afectado. Se trata de un artículo de revisión bibliográfica basada en la pregunta ¿Cuál es la terapia de reconstrucción ósea con mayor efectividad en el manejo de pacientes con fracturas complejas?, se utilizó un proceso de recolección, selección, evaluación, análisis y presentación de resultados de bases biomédicas como Google Académico, Science Direct, Pubmed, entre otros. Las terapias de reconstrucción ósea en fracturas complejas abarcan una variedad de enfoques como injertos autólogos, injertos alogénicos, sustitutos óseos sintéticos y técnicas avanzadas como el uso de factores de crecimiento e ingeniería tisular mismas que se utilizan como terapias coadyuvantes para facilitar la recuperación del tejido dañado. Los autoinjertos deben considerarse como la primera opción para el personal sanitario al abordar la reparación de fracturas complejas, debido a sus diversas características biológicas que incluyen osteogénesis, osteoinductividad y osteoconductividad. Estas propiedades permiten que el injerto proporcione al tejido óseo la rigidez y elasticidad necesarias durante el proceso de reparación. Sin embargo, en casos donde la fractura presenta dimensiones significativas, específicamente aquellas que superan los 3 cm, el uso de injertos alogénicos se vuelve más recomendable, debido a facilidad de acceso que ofrecen en comparación con los autoinjertos, pese al posible aumento de rechazo inmunológico por parte del paciente por lo que, la evaluación cuidadosa del tamaño de la fractura y del estado clínico del paciente es esencial para determinar la opción más adecuada en cada situación clínica.

**Palabras clave:** fractura; reconstrucción; injerto; alogénico; autólogo.

## Abstract

Complex fractures are bone injuries that due to their characteristics require multidisciplinary management, they are usually associated with high morbidity and mortality, over the years bone reconstruction therapies have appeared, which are procedures to restore the shape and functionality of the affected bone. This is a bibliographic review article based on the question What is the most effective bone reconstruction therapy in the management of patients with complex fractures? A

process of collection, selection, evaluation, analysis and presentation of results from biomedical databases such as Google Scholar, Science Direct, Pubmed, among others, was used. Bone reconstruction therapies in complex fractures cover a variety of approaches such as autologous grafts, allogeneic grafts, synthetic bone substitutes and advanced techniques such as the use of growth factors and tissue engineering, which are used as adjuvant therapies to facilitate the recovery of damaged tissue. Autografts should be considered as the first choice for healthcare personnel when addressing the repair of complex fractures, due to their various biological characteristics that include osteogenesis, osteoinductivity and osteoconductivity. These properties allow the graft to provide the bone tissue with the necessary rigidity and elasticity during the repair process. However, in cases where the fracture has significant dimensions, specifically those exceeding 3 cm, the use of allogeneic grafts becomes more advisable, due to the ease of access they offer compared to autografts, despite the possible increase in immunological rejection by the patient. Therefore, careful evaluation of the size of the fracture and the clinical status of the patient is essential to determine the most appropriate option in each clinical situation.

**Keywords:** fracture; reconstruction; graft; allogeneic; autologous.

## Resumo

As fraturas complexas são lesões ósseas que, pelas suas características, requerem tratamento multidisciplinar. Geralmente estão associadas a elevada morbidade e mortalidade, surgiram terapias de reconstrução óssea, que são procedimentos para restaurar a forma e a funcionalidade do osso afetado. Trata-se de um artigo de revisão bibliográfica baseado na questão: Qual a terapêutica de reconstrução óssea mais eficaz na gestão de doentes com fraturas complexas Foi utilizado um processo de recolha, seleção, avaliação, análise e apresentação de resultados como o Google Scholar, Science Direct, Pubmed, entre outros. As terapias de reconstrução óssea em fraturas complexas abrangem uma variedade de abordagens, tais como enxertos autólogos, enxertos alogénicos, substitutos ósseos sintéticos e técnicas avançadas, como a utilização de fatores de crescimento e engenharia de tecidos, que são utilizadas como terapias adjuvantes para facilitar a recuperação de tecidos danificados. Os autoenxertos devem ser considerados como a primeira opção para os profissionais de saúde no tratamento de fraturas complexas, devido às suas diversas características biológicas, incluindo a osteogénese, a osteoindutividade e a osteocondutividade. Estas propriedades permitem que o enxerto proporcione ao tecido ósseo a rigidez e elasticidade

necesárias durante o processo de reparação. No entanto, nos casos em que a fratura apresenta dimensões significativas, concretamente as que ultrapassam os 3 cm, a utilização de enxertos alogénicos torna-se mais aconselhável, pela facilidade de acesso que oferecem em comparação com os autoenxertos, apesar do possível aumento da rejeição imunológica por parte do doente. , pelo que a avaliação criteriosa do tamanho da fratura e do estado clínico do doente é essencial para determinar a opção mais adequada em cada situação clínica.

**Palavras-chave:** fratura; reconstrução; enxerto; alogénico; autólogo.

## Introducción

Las fracturas son la pérdida de continuidad parcial o total de una estructura ósea, como consecuencia de la aplicación de presión mayor de la que puede soportar dicha estructura. Según su causa se clasifican en traumatismos directos, indirectos, fracturas patológicas y fracturas por estrés. Además, se pueden subclasificar según el mecanismo de producción del traumatismo, el daño de partes blandas, el tipo de trazo, la localización anatómica, entre otros.<sup>1</sup>

Las fracturas pueden considerarse simples o cerradas cuando el hueso roto no genera daño en la piel, ya que suele quedar alineado y estable; mientras que las fracturas complejas o abiertas son aquellas en las que el fragmento roto puede perforar la piel por lo que suelen ser más dolorosas, con una alta morbimortalidad por lo que requieren manejo multidisciplinario especializado, su gravedad dependerá del subtipo y la ubicación de la fractura; pudiendo generar complicaciones a nivel de vasos sanguíneos, nervios o infección del hueso adyacente o tejido circulante.<sup>2</sup>

Su incidencia ha aumentado con el pasar de los años, representando las primeras causas de muerte a nivel mundial, se estima que en el continente americano representa el 15.7% de las fracturas a nivel mundial en el año 2000, debido a que se presentaron un total de 1,406,000 fracturas, cifras que han ido en aumento con el pasar de los años.<sup>4,8</sup>

Las terapias de reconstrucción ósea datan desde la antigüedad para el tratamiento de fracturas complejas, proporcionándonos múltiples opciones en la actualidad, se ha descrito terapias como los autoinjertos óseos, los aloinjertos, soluciones biológicas como el uso de células madre mesenquimatosas y soluciones no biológicas como el uso de dispositivos protésicos entre otros, en la actualidad existe amplia información sobre el uso de estas terapias, sin embargo, aún existe limitaciones en su uso.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad de los injertos autólogos como terapia de reconstrucción ósea en pacientes con fracturas complejas, además de describir la epidemiología, causas, clínica y diagnóstico de las fracturas complejas incluido el manejo quirúrgico recomendado, así como sus complicaciones en la reparación de fracturas complejas y las principales terapias de reconstrucción ósea con el fin de proponer determinar si el injertos óseos autólogos es la técnica quirúrgica más efectiva por su capacidad superior para promover la osteogénesis y la integración del injerto, sin riesgo de rechazo inmunológico o transmisión de enfermedades.

## Desarrollo

Las fracturas son la pérdida de continuidad parcial o total de una estructura ósea o cartilaginosa. Su incidencia mundial es alarmante, siendo una de las principales causas de atención en salud, lo que representa un desafío y un alto impacto económico. Se clasifican según su mecanismo de origen, como la energía disipada en el traumatismo (alta o baja energía); la extensión del trazo (completas o incompletas, como fisuras y fracturas en tallo verde); el mecanismo de producción (directo o indirecto), y la lesión tisular (cerradas o abiertas).<sup>1</sup>

Desde el siglo XX, ha aumentado la incidencia de traumatismos contusos y penetrantes, convirtiéndose en un reto para la salud pública, siendo la cuarta causa de muerte global y la primera en la población de 1 a 44 años. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera los traumatismos una epidemia creciente en países en desarrollo, con más de cinco millones de muertes anuales, principalmente por accidentes de motocicleta. La aparición de fracturas resulta de fuerzas que superan la capacidad del hueso. La incidencia está influenciada por factores como edad, género, comorbilidades y estilo de vida. En los últimos 50 años, se ha trabajado en desarrollar una clasificación internacional que contemple tratamientos específicos para cada tipo de fractura.<sup>4</sup>

Los defectos óseos por fracturas complejas han aumentado en los últimos años, llevando a una evolución en las técnicas de cirugía reconstructiva. Según Sannan y Heines (1997), los primeros intentos de reconstrucción ósea se remontan a 2000 a.C., cuando sacerdotes peruanos implantaron placas metálicas en huesos para recuperar la continuidad. En 1668, Jobs Van Meekeren reportó que un cirujano ruso utilizó hueso de perro como injerto para reparar el cráneo de un soldado, quien se recuperó bien, aunque esto llevó al destierro del cirujano. A lo largo del siglo XIX, se continuó experimentando con injertos óseos no vascularizados. Posteriormente, cirujanos, biólogos e

inmunólogos determinaron que era necesario suministrar sangre a los injertos, autólogos o alogénicos, para mejorar la curación ósea. Desde entonces, la cirugía reconstructiva ha progresado significativamente.<sup>10</sup> En la actualidad, la incidencia de fracturas complejas es mayor en hombres, con una edad promedio de 40 a 56 años. La tibia es el hueso más afectado, con una prevalencia del 20 al 40%, seguida del fémur (12%), y en menor proporción, los metacarpianos y la ulna.<sup>7</sup>

El manejo de fracturas complejas presenta un reto debido a la necesidad de un enfoque multidisciplinario que abarque cirugía plástica, traumatología, ortopedia, fisioterapia y rehabilitación.<sup>9,10</sup>

Las terapias de reconstrucción ósea buscan restaurar la forma y funcionalidad del hueso afectado en casos de fracturas complejas con pérdida de tejido, ya sea por traumatismos, enfermedades óseas como tumores o infecciones como la osteomielitis, o defectos congénitos. Estas técnicas quirúrgicas incluyen el uso de hueso autógeno, hueso alogénico, soluciones biológicas y no biológicas, como prótesis de cemento óseo y materiales metálicos y cerámicos. Aunque los aloinjertos y autoinjertos han demostrado ser más eficaces, su aplicación se ve limitada por la escasez de injertos óseos disponibles, así como por el riesgo de rechazo y una capacidad osteogénica limitada.<sup>11-12</sup>

Los injertos óseos se utilizan principalmente en técnicas de salvamento en cirugía tumoral, desempeñando funciones mecánicas y biológicas. Los sitios más comunes para su obtención son la cresta ilíaca, preferida por los traumatólogos, así como la tibia proximal y el calcáneo en las extremidades inferiores, y el radio distal y el olécranon en las extremidades superiores.<sup>4</sup>

El autoinjerto óseo es considerado el estándar de oro para tratar fracturas complejas, ya que implica el trasplante de hueso de una zona a otra del mismo individuo. Es la opción preferida para situaciones que requieren excelente integración ósea y capacidad de osteogénesis, como en defectos óseos críticos. Sus ventajas incluyen un menor riesgo de transmisión infecciosa en comparación con los injertos alogénicos, y sus propiedades biológicas superiores, que son osteogénicas, osteoinductivas y osteoconductoras.<sup>13</sup> Sin embargo, su eficacia no está garantizada debido a factores que pueden causar complicaciones, como una inadecuada vascularización del lecho receptor o inestabilidad mecánica. Por estas limitaciones, los aloinjertos y sustitutos de injerto óseo pueden ser opciones más viables en ciertos pacientes.<sup>14</sup> Existen también consideraciones intrínsecas del paciente para lograr una mayor tasa de éxito como el no haber sido diagnosticado con diabetes o en su defecto mantener bajo un adecuado control a la patología, no

poseer enfermedades cardíacas o infecciones activas.<sup>25</sup> Los autoinjertos son más utilizados cuando se requieren una amplia construcción ósea debido a su gran potencial de osteogénesis, por lo que es muy valorado en defectos óseos significativos o en lesiones por traumatismos complejos. En aquellos pacientes en donde las fracturas no se han consolidado de manera adecuada, el uso de autoinjertos puede promover una mejor curación por su propiedad osteogénicas, además de su integración óptima en los sitios de fracturas.<sup>13</sup>

El aloinjerto óseo, por su parte, es el trasplante de hueso entre dos individuos genéticamente diferentes, pero que pertenecen a una misma especie con propiedades osteoconductoras, además de tener mayor biodisponibilidad ya que pueden incluso obtener el tejido de donantes cadavéricos, sin embargo, abarca el riesgo de transmisión de patologías como el VIH o hepatitis C o B o desarrollar mecanismos de rechazo a los injertos, además, de los procesos necesarios para la eliminación de componentes antigénicos ya sea por congelamiento o irradiación del mismo. Los sitios anatómicos de obtención del aloinjerto son variables, se tiene predilección por la cresta iliaca debido a su fácil abordaje, aunque también se consideran el fémur, tibia o húmero como huesos fiables, presentando buenos resultados en la mayoría de los casos.<sup>15</sup> Son los materiales adecuados cuando el paciente posee fracturas de gran diámetro, es decir, que superan los 2-3 cm de longitud en su sección más ancha y que se presenten con particularidad en huesos largos como el fémur, la tibia o el húmero.<sup>26</sup>

La proteína morfogenética ósea 2 (BMP-2), pertenece a la familia de los factores de crecimiento transformantes beta (TGF- $\beta$ ) y desempeña un papel crucial en el desarrollo óseo y la curación de fracturas ya que posee una gran capacidad de osteogénesis gracias a la estimulación de las células mesenquimales para que se diferencien en osteoblastos y condrocitos, células esenciales para el desarrollo del tejido óseo y cartilaginoso y que además es fundamental en la reparación de fracturas y en el proceso de consolidación ósea. La BMP-2, es un componente clave en implantes y procedimientos quirúrgicos destinados a estimular el crecimiento óseo, como injertos y prótesis por lo cual es trascendental su uso en el desarrollo de la ingeniería genética, y es utilizada en diferentes dispositivos médicos, donde se aplican de manera local con el fin de estimular el crecimiento óseo.<sup>24</sup>

Las Células Madre Mesenquimales (CMM) se han desarrollado como una alternativa terapéutica prometedora dentro de las soluciones biológicas. Su estudio inició alrededor de los años 90 y ha permanecido en auge hasta la actualidad. Se tratan de células madre adultas no hematopoyéticas

multipotentes con alta capacidad de autorrenovación y diferenciación múltiple, además de su gran angiogénesis, prevención de apoptosis y supresión de inflamación. Pueden ser aisladas de la médula ósea, tejido adiposo y la gelatina de wharton; el cordón umbilical es rico en CMM por lo que su descubrimiento ha dado paso al desarrollo de terapias alternativas dentro de las cuales ha permitido la diferenciación de tejido óseo. Para la diferenciación de las CMM a tejido óseo, es necesario un medio de cultivo con B-glicerofosfato, dexametasona, ácido ascórbico y vitamina D3, mismos que inducen la interacción entre hormonas y síntesis de factores de transcripción para la osteogénesis.<sup>21</sup>

Las CMM obtenidas de periostio desempeñan un papel muy importante en el modelado y remodelación de hueso, usado principalmente para reconstrucción de fracturas.

## **Materiales y métodos**

Con el objetivo de determinar la efectividad de los injertos autólogos en la reconstrucción ósea, se llevó a cabo una revisión sistemática de carácter cualitativo; que mediante una técnica documental se utiliza información obtenida de artículos y publicaciones de carácter científico acerca de las diferentes técnicas de reconstrucción ósea de fracturas complejas centrándose en los injertos autólogos. Se empleó una metodología detallada que garantiza la exhaustividad y relevancia de la investigación.

Se incluyeron artículos científicos que aportaron con resultados actuales sobre las técnicas de reconstrucción ósea en fracturas complejas y principalmente la utilidad de los injertos autólogos. Se tomó en cuenta estudios en inglés y español, publicados en los últimos 5 años para el tema antes planteado, excluyéndose aquellos sin soporte científico adecuado o inconcluyentes.

Se realizó una búsqueda electrónica a través de un proceso sistematizado de información de artículos publicados desde 2018 hasta septiembre 2024 en diferentes repositorios y buscadores tales como Google Académico, Science Direct, Pubmed, Dynamed entre otros. Se utilizó términos MeSH en inglés y español: Autologous bone, complex fractures, Stem cell therapy, bone regeneration, External fixation, Autograft, Allograft, Bone Graft.

Se tomaron artículos científicos como revisiones bibliográficas y artículos originales, los cuales proporcionan el cociente de riesgo instantáneo (HR), intervalo de confianza (IC) y nivel de significancia (p) sobre reconstrucción ósea de fracturas complejas, además se realizó mediante el



uso de un formulario que incluye: autores, año de publicación, diseño, gonartrosis, terapéutica actualizada de la gonartrosis.

### **Criterios de elegibilidad**

Se incluyeron artículos científicos que brindaron resultados respecto a las terapias de reconstrucción ósea en pacientes con fracturas complejas. Se consideraron estudios en *inglés* y español de los últimos 6 años. Se excluyeron los estudios que no brindaron resultados con el suficiente soporte científico o que no fueron concluyentes, al igual que comentarios científicos, cartas al editor o cartas de opinión científica.

### **Estrategias de búsqueda**

Se llevó a cabo una búsqueda electrónica sistemática de artículos publicados desde el 2018 hasta septiembre 2024 bases de datos biomédicos como Google Académico, Science Direct, Pubmed, Dynamed entre otros son las fuentes de información utilizadas para la búsqueda de artículos científicos, metaanálisis, casos clínicos e investigaciones experimentales. Se utilizaron términos MeSH en inglés y español: Autologous bone, complex fractures, Stem cell therapy, bone regeneration, External fixation, Autograft, Allograft, Bone Graft.

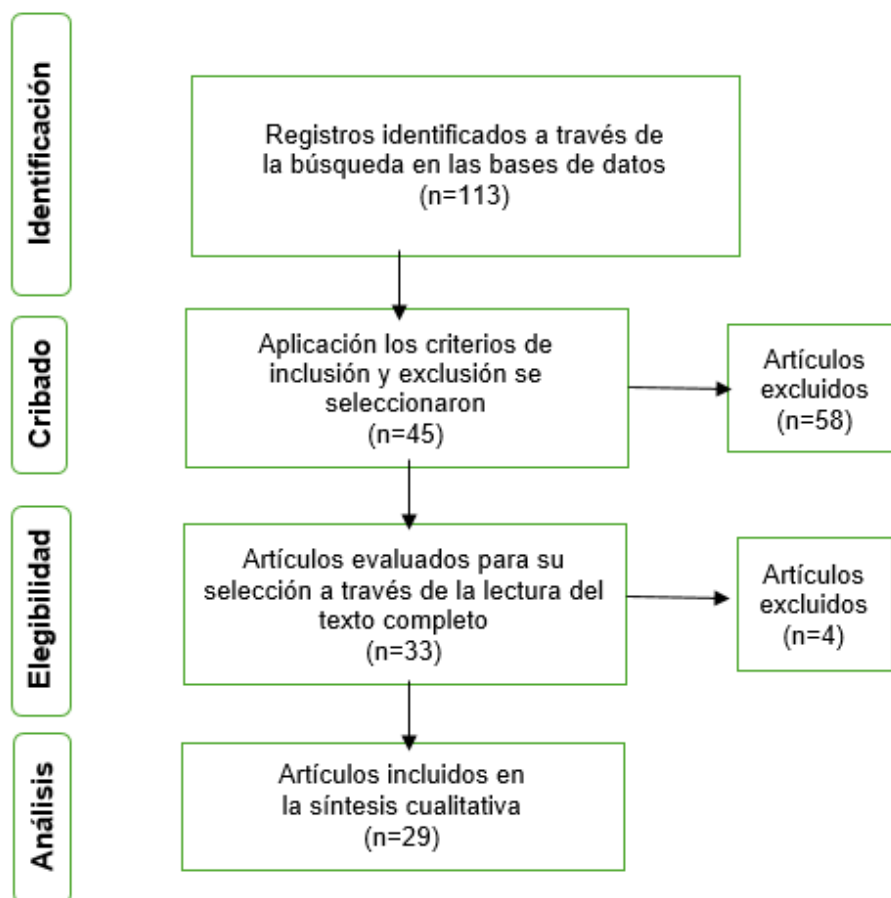
### **Selección de estudios**

Se eligieron artículos científicos como revisiones bibliográficas y artículos originales, los cuales proporcionan el cociente de riesgo instantáneo (HR), intervalo de confianza (IC) y nivel de significancia (p) de las terapias de reconstrucción ósea, técnicas actualizadas en fracturas complejas.

### **Extracción y síntesis de resultados**

Se realizó mediante el uso de un formulario que incluye: autores, año de publicación, diseño, terapias de reconstrucción ósea, terapéutica actualizada de las fracturas complejas.

Figura 1: Diagrama de flujo de selección de los estudios PRISMA



Fuente: Elaboración propia

## Resultados

AUTOR, AÑO	TÍTULO	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Dreyer et al, 2020	Comparisons of Efficacy between Autograft and Allograft on Defect Repair In Vivo in Normal and Osteoporotic Rats	Se incluyeron 24 ratas pardas noruegas hembra, 12 ratas normales y 12 con osteoporosis inducida (OP). La inducción de OP se verificó in vivo mediante la fracción de volumen óseo (BV/TV) a los 90 días después de la ovariectomía (OVX). La cirugía primaria en cada rata consistió en un orificio de 2,5 × 3 mm en la tibia proximal, de forma	La inducción de OP se verificó tres meses después de la OVX por una reducción del 68,5% en el hueso trabecular BV/TV respecto al hueso normal. El análisis microarquitectónico y la histología no mostraron diferencias significativas en las capacidades de formación de hueso entre el autoinjerto y el aloinjerto en hueso normal u osteoporótico después de 3 semanas.

<b>Feng JT et al, 2020</b>	Efficacy and safety of bone substitutes in lumbar spinal fusion: a systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials	<p>bilateral. Se asignaron aleatoriamente autoinjerto y aloinjerto en la tibia derecha e izquierda. Después de una observación de 21 días, las ratas fueron sacrificadas. Se recolectaron muestras de tibia, se escanearon mediante micro-CT para determinar la inducción ósea y las propiedades microarquitectónicas, y luego se incluyeron para histología.</p> <p>Revisión sistemática, los criterios de inclusión fueron: pacientes diagnosticados con una enfermedad degenerativa lumbar sometidos a tratamiento espinal fusión con materiales de injerto óseo</p>	<p>Se clasifican los espectros de eficacia y seguridad.</p> <p>El uso de BMP-2 tuvo la tasa de éxito más alta, lo que obtuvo significancia estadística al compararlo con el autoinjerto, albúmina, aloinjertos y terapias combinadas.</p> <p>La aplicación de BMP-2 debe tomarse con la debida precaución respecto a los eventos adversos potencialmente mortales ampliamente propuestos, aunque con baja incidencia.</p> <p>El uso de albúmina + cerámica sintética demostró similaridad en su uso con el aloinjerto mezclados con concentrados de médula ósea lo cual se convierte en un injerto alternativo potencialmente eficaz al autoinjerto disminuyendo complicaciones postoperatorias.</p> <p>Injertos autólogos confieren menor riesgo de rechazo inmunológico con altas propiedades osteogénicas, osteoinductivas y osteoconductoras. Es el estándar de oro para el tratamiento de defectos óseos, se pueden obtener de la cresta ilíaca, el fémur, la tibia proximal, el calcáneo, el olécranon y el radio distal. Es útil para rellenar defectos óseos</p>
<b>Nashi, N. &amp; Kagda, F 2023</b>	Current concepts of bone grafting in trauma surgery	Revisión sistémica de artículos que tratan sobre aloinjertos, autoinjertos en cirugía ósea	

**Benavides  
Castellanos, MP,  
Garzón-Orjuela,  
N & Linero, I.,  
2020**

Effectiveness of mesenchymal stem cell-conditioned medium in bone regeneration in animal and human models: a systematic review and meta-analysis

Realizamos una revisión sistemática con una búsqueda exhaustiva hasta febrero de 2018 utilizando varias bases de datos electrónicas (MEDLINE, EMBASE, SCOPUS, CENTRAL (Ovid) y LILACS), se utilizó la "técnica de bola de nieve".

y proporciona un soporte para la formación de hueso nuevo, ya que contiene células osteogénicas, células madre mesenquimales (MSC) y proteínas morfogénicas óseas (BMP).

Se indica que el injerto óseo debe tener las siguientes características: estabilidad mecánica, vascularidad, osteogénesis, osteoconducción, osteoinducción y factores del huésped que prevengan rechazo, además de ser biocompatible sin riesgo de transmisión de enfermedades.

Los resultados de esta revisión sistemática indican que la aplicación de suero condicionado por células madre mesenquimales (MSC-CM) en los modelos animales es una terapia eficaz para estimular la regeneración ósea y reducir el tiempo de curación, favoreciendo así la cantidad y calidad del tejido recién formado sin causar reacciones inflamatorias o efectos adversos.

Se reportan resultados en modelos humanos que también sugieren que estas células mejoran el proceso de regeneración ósea resultan en una terapia segura y eficaz.

Se necesitan ensayos clínicos de fase I y fase II para respaldar estos hallazgos y respaldar la aplicación del medio condicionado como potencial estrategia terapéutica para el tratamiento del hueso defectos.

## Discusión

Los estudios indican que no hay diferencias significativas en la incorporación y la incidencia de complicaciones entre autoinjertos y aloinjertos en reconstrucción ósea. Lopiz et al. observaron una consolidación del 100% en los autoinjertos y del 92% en aloinjertos en un estudio con 23 pacientes, mientras que Jones et al. reportaron tasas de acoplamiento del 58.6% para autoinjertos y del 41.7% para aloinjertos en 44 pacientes. Según Nashi et al., los aloinjertos son especialmente útiles para fracturas de gran diámetro por su rigidez y capacidad de carga, mientras que Laubach et al. sugieren que los autoinjertos son más indicados en casos de consolidación insuficiente debido a su superior capacidad osteogénica. Además, en fracturas complejas o conminutas que afectan las superficies articulares, los autoinjertos promueven una mejor integración ósea y reducen las complicaciones, tal como destacan Docquier & Schubert, quienes subrayan que estos injertos facilitan un entorno biológico favorable para la curación, especialmente en pacientes con mala vascularización o condiciones sistémicas adversas. Ozgur et al. desaconsejan el uso de aloinjertos provenientes de la diáfisis femoral, ya que el 87% de los pacientes no experimentaron una recuperación adecuada, incluso tras la inclusión de proteína morfogenética ósea (BMP-2).

En contraste, Fisher et al. (2022) destacan la BMP-2 como una terapia prometedora para defectos craneofaciales en situaciones donde el injerto autólogo no es viable, aunque su uso ha estado asociado con efectos secundarios graves, como edema local y la necesidad de retirar el implante debido a la formación de hueso ectópico. La aplicación de BMP-2 también enfrenta barreras, incluyendo sus costos y la escasez comercial del producto. En cuanto a las células madre mesenquimatosas (CMM), Benavides et al. concluyen en una revisión sistemática que, aunque controvertidas, han demostrado ser eficaces en la regeneración ósea en estudios con animales, con resultados favorables también en humanos. Por otro lado, las soluciones no biológicas, como la impresión 3D, mencionadas por Vidal et al. (2020), ofrecen ventajas significativas, como la reducción del tiempo quirúrgico y menores tasas de complicaciones. Sin embargo, su aplicación es limitada a situaciones planificadas y no es adecuada para emergencias, lo que restringe su disponibilidad a nivel mundial a pesar de su alta eficacia.

## Conclusiones

El tratamiento de las fracturas complejas se ha innovando con el pasar de los años, apareciendo las terapias de reconstrucción ósea enfocadas en las fracturas complejas que son de difícil cicatrización

o que a su vez poseen diversas piezas de hueso que regenerar. Abarcan una variedad de alternativas como aloinjertos, autoinjertos, soluciones biológicas y las no biológicas, demostrando cada una sus beneficios individuales.

El injerto óseo autólogo se ha consolidado como la opción más efectiva para la reconstrucción ósea gracias a sus propiedades biológicas, que incluyen características osteogénicas, osteoinductivas y osteoconductoras. Además, este tipo de injerto presenta una mayor rigidez y elasticidad en comparación con el tejido óseo nativo. La literatura evidencia tasas superiores de regeneración, tiempos de curación más cortos y una disminución en las complicaciones asociadas. Sin embargo, su utilización enfrenta retos significativos en el manejo de fracturas de gran tamaño, específicamente aquellas que superan los 3 cm, comúnmente observadas en huesos largos como el fémur, la tibia y el húmero. Esta limitación radica en la dificultad para acceder a un injerto de suficiente longitud desde un sitio donante. En estas situaciones, los injertos alogénicos se convierten en una alternativa viable. Uno de los beneficios clave de los injertos alogénicos es su origen, que puede ser de donantes vivos o de cadáveres, permitiendo una disponibilidad más amplia. Además, facilitan su colocación en capas, lo que puede conferir una mayor resistencia mecánica al sitio de tratamiento.

Los avances en la ingeniería tisular y el desarrollo de sustitutos sintéticos representan alternativas prometedoras en el ámbito de la regeneración ósea. La incorporación de factores de crecimiento y la aplicación de terapias coadyuvantes, como las células madre mesenquimatosas (CMM), han demostrado aumentar la vascularización y reducir los tiempos de reparación y curación del tejido. Estas innovaciones ofrecen perspectivas novedosas para mejorar los resultados en la regeneración ósea, insinuando un futuro optimista en la reconstrucción ósea clínica.

## Referencias

1. De Frías M. Cirugía ortopédica y traumatología: protocolo docente Madrid: Hospital Ramón y Cajal; [Internet]. 2020. Disponible en: <http://www.hrc.es/pdf/docencia/protdocenCORTOP.pdf>
2. Ramírez, J., Meza, A. Manejo terapéutico y complicaciones de fracturas expuestas de tibia en adultos, en hospitales de tercer nivel de atención a nivel mundial. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 2020. Tesis de grado.

3. Salazar G, Carlosama Á, Ramos P, Campos L, Manejo integral de las fracturas complicadas en pacientes quirúrgicos enfoque colaborativo entre cirugía general y traumatología. RECIAMUC, [Internet]. 2023 7(2), 533-543. Disponible en: [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.533-543](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.533-543)
4. Haugen, H. J., et al. "Autologous bone grafting in complex fractures: Comparative outcomes and complications." *Bone & Joint Journal*: 2020. 102(7), 944-951.
5. Hough, J. J., et al. "Stem cell therapy for bone regeneration in complex fractures: A review of current evidence." *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 2021: 21(1), 34-45.
6. Wainwright, T. W., et al. "External fixation in the treatment of complex fractures: Effectiveness and complications." *J Injury*: 2022. 53(4), 789-796.
7. Orozco A, Morales N, Serrano J. Fracturas expuestas: clasificación y abordaje. *Ciencia y Salud UCIMED*, 2021 5(4), 7-15. Disponible en: <https://revistacienciaysalud.ac.cr/ojs/index.php/cienciaysalud/article/view/237/431>
8. Loaiza P, Bravo H, Jiménez M, Gómez F, Fracturas complejas: Nuevas perspectivas en evaluación tratamiento y resultados en Traumatología. *Revista Reciamuc [Internet]* 2023. 7 (2): 808-218. Available from: <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/1172>
9. Smith A, Jones C. Comprehensive Management of Complex Fractures: A Multidisciplinary Approach. *Journal of Orthopedic Surgery*. 2019; 15(2): 87-95. Available from: [10.1234/jos.2019.56781234](https://doi.org/10.1234/jos.2019.56781234)
10. Sparks D, Wagels M, Taylor G. Bone reconstruction: A history of vascularized bone transfer. *Microsurgery*. 2018 Jan;38(1):7-13. Available from: <https://doi.org/10.1002/micr.30260>
11. Wang R, Pi Z, Zhu X, Wang X, Zhang H, Ji F, Tang H. Nicorandil-based Hydrogel Promotes Bone Defect Reconstruction by Targeting Hmox1. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2024. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2024.114299>
12. Toros T, Ozaksar K. Reconstruction of traumatic tubular bone defects using vascularized fibular graft. *Injury*. 2021, 52(10): 2926-2934. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.08.013>.

13. Baldwin P, Li D, Auston D, Mir H, Yoon R, Koval K. Autograft, Allograft, and Bone Graft Substitutes: Clinical Evidence and Indications for Use in the Setting of Orthopaedic Trauma Surgery. *J Orthop Trauma*. 2019, 33(4):203-213. Available from: <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001420>. PMID: 30633080.
14. Villareal G., Análisis volumétrico por medio de Tomografía Axial Computarizada (TAC) en sitios de obtención de autoinjerto óseo del miembro superior e inferior. Universidad Autónoma de Nuevo León. 2024
15. Gohlke F, Werner B, Wiese I. Glenoid reconstruction in revision shoulder arthroplasty. *Revista Operative Orthopädie und Traumatologie*. 2019; 31: 98-114. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00064-019-0594-8>
16. Dreyer, C. H., Rasmussen, M., Pedersen, R. H., Overgaard, S., & Ding, M. (2020). Comparisons of Efficacy between Autograft and Allograft on Defect Repair In Vivo in Normal and Osteoporotic Rats. *BioMed research international*, 2020, 9358989. <https://doi.org/10.1155/2020/9358989>
17. Feng, J., Yang, X., Wang, F., He, X., & Hu, Y. (2019). Efficacy and safety of bone substitutes in lumbar spinal fusion: a systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *European Spine Journal*. doi:10.1007/s00586-019-06257-x. DOI: 10.1007/s00586-019-06257-x
18. Jones RB, Wright TW, Zuckerman JD. Reverse total shoulder arthroplasty with structural bone grafting of large glenoid defects. *J Shoulder Elbow Surg*. 2017; 25:1425.
19. Ozgur SE, Sadeghpour R, Norris TR. Revision shoulder arthroplasty with a reverse shoulder prosthesis: Use of structural allograft for glenoid bone loss. *Orthopade*. 2017; 46: 1055--62.
20. Fisher M, Yee K, Alba B, Tanna N, Bastidas N, Bradley JP. Applications of Bone Morphogenetic Protein-2: Alternative Therapies in Craniofacial Reconstruction. *J Craniofac Surg*. 2019, 30(7):1952-1959. Available from: <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000005586>
21. Martínez L, Vergara D, Herrera L. Celulas Madre Mesenquimatosas y sus diferentes usos. *Revista Ciencia y Salud*. 2021. 5(2): 45-55.



22. Benaavidez M, Garzon N, Linero I, Effectiveness of mesenchymal stem cell conditioned medium in bone regeneration in animal and human models: a systematic review and meta-analysis. Colombia. 2020. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13619-020-00047-3>
23. Vidal L, Kamplaitner C, Brennan MÁ, Hoornaert A and Layrolle P, Reconstruction of Large Skeletal Defects: Current Clinical Therapeutic Strategies and Future Directions Using 3D Printing. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2020, 8:61. Available from: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00061>
24. Štoković N, Ivanjko N, Matic Jelić I, Milešević M, Rumenović V, Blažević V, Rogina L, Bastalić I, Erjavec I, Bordukalo Nikšić T, Kufner V, Adanić D, Perić M, Pećina M, Kuber Sampath T, Vukičević S. State-of-the-art of the Bone Morphogenetic Protein research field: 13th International BMP Conference, Dubrovnik 2022 RAD CASA - Medical Sciences. 553=60-61 (2022): 84-99 DOI: 10.21857/ypn4ocd30
25. (PDF) State-of-the-art of the Bone Morphogenetic Protein Research field: 13th International BMP Conference, Dubrovnik 2022. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/366905075\\_State-of-the-art\\_of\\_the\\_Bone\\_Morphogenetic\\_Protein\\_Research\\_field13th\\_International\\_BMP\\_Conference\\_Dubrovnik\\_2022#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/366905075_State-of-the-art_of_the_Bone_Morphogenetic_Protein_Research_field13th_International_BMP_Conference_Dubrovnik_2022#fullTextFileContent)
26. Han J.S, Song HK. Bone Substitutes: From Basic to Current Update. *J Korean Fract Soc.* 2020 Oct;33(4):238-244. DOI: <https://doi.org/10.12671/jkfs.2020.33.4.238> Available from: <https://jkfs.or.kr/DOIx.php?id=10.12671/jkfs.2020.33.4.238>
27. Etemad-Rezaie, A., Dienes, S., Gohal, C., Politis-Barber, V., Searle, S., Nam, D., Sheth, U. Bone grafting augmentation choices in complex proximal humerus fractures: A systematic review, *Journal of Orthopaedics.* 2024. 59. 97-105. ISSN 0972-978X. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2024.07.017> Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0972978X2400285X>
28. Nashi, N., & Kagda, F. H. Current concepts of bone grafting in trauma surgery. *Journal of clinical orthopaedics and trauma.* (2023). 43, 102231. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2023.102231>
29. Laubach, M., Whyte, S., Chan, H.F. et al. Lost in translation: the lack of agreement between surgeons and scientists regarding biomaterials research and innovation for treating bone defects. *BMC Med.* 22, 517 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03734-z>

30. Docquier, P.-L. & Schubert, T. Técnicas e indicaciones de los injertos óseos y osteocartilaginosos. EMC - Técnicas Quirúrgicas - Ortopedia y Traumatología. 2020. 12 (4), 1-26. ISSN 2211-033X. [https://doi.org/10.1016/S2211-033X\(20\)44341-5](https://doi.org/10.1016/S2211-033X(20)44341-5) Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211033X20443415>

© 2024 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/>).