**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE SALUD Y BIENESTAR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN CIRUGÍA TRAUMATOLÓGICA Y ORTOPÉDICA**

**SUBMODALIDAD: ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

# "EFICACIA Y RESULTADOS FUNCIONALES DE LA TÉCNICA DE MEMBRANA INDUCIDA FRENTE AL TRANSPORTE O ALARGAMIENTO ÓSEO EN LA RECONSTRUCCIÓN DE DEFECTOS ÓSEOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA."

**AUTORES:** *MD. ISRAEL ALBERTO ALARCÓN SEGOVIA*

*MD. GUIDO VINICIO SALAZAR BUSTAMANTE*

**DIRECTOR:** *DR JORGE EDUARDO TIGUA CHIPANTIZA*

**QUITO-ECUADOR**

**2026**

## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certificamos que hemos leído todas las políticas y manuales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y estamos de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas políticas.

Asimismo, cedemos los derechos en línea patrimoniales de nuestro trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción dentro de las regulaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.




_____

Israel Alberto Alarcón Segovia




_____

Guido Vinicio Salazar Bustamante

## DEDICATORIA ISRAEL ALARCÓN

A Dios, por ser mi guía constante y fortaleza en los momentos difíciles y por iluminar cada paso de este camino, permitiéndome llegar hasta el final de este logro tan importante en mi vida.

A mi madre (Lilian), abuela (Isabel) y abuelo (Alberto), por su amor incondicional, su sacrificio y su apoyo infinito. Por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por ser mi ejemplo de lucha y perseverancia, y por ser el pilar fundamental que me impulsó a seguir adelante.

A mis hermanos (Abi, Santi y Jon), por su compañía, su apoyo y por estar siempre presentes en cada etapa de este proceso. Por ser parte de mi motivación y recordarme que nunca estoy solo.

Este logro no es solo mío, es de todos quienes han sido parte esencial de este camino.

## DEDICATORIA GUIDO SALAZAR

Quiero dedicar este logro primeramente a Dios, quien ha guiado mi camino siempre, iluminándome día a día para afrontar cada adversidad que se ha presentado y darme la sabiduría e inteligencia para tomar las mejores decisiones y hacer bien las cosas.

A mis padres (Guido y Alexandra) quienes siempre han sido incondicionales me han apoyado inmensurablemente y han sido un pilar fundamental en la consecución de este logro y finalización de esta etapa profesional.

A mi esposa Verónica quien ha dado toda su dedicación y amor en el cuidado y crianza de nuestro más grande tesoro; Thiago Nicolas y Joaquín Ignacio; este logro es para ustedes quienes muchas veces no me tuvieron a su lado, extrañandome, pero siempre pensado en dar lo mejor para ser una gran persona y excelente profesional.

A mis hermanos Esteban, Francia y Marthita, por que siempre confiaron en mí, y han estado apoyándome de gran manera en estos 4 años, me han enseñado que los logros se alcanzan con esfuerzo y dedicación, espero continuar siendo un ejemplo para ustedes.

A mis abuelos (Francia y Segundo) quienes han sido ejemplo de esfuerzo y dedicación, durante toda mi vida han sido un espejo y me he reflejado en ustedes, luchando día a día para siempre ser el mejor.

Este logro va dedicado para ustedes quienes siempre estuvieron a mi lado, guiándome y recordándome que cada esfuerzo siempre tiene su recompensa.

# AGRADECIMIENTO ISRAEL ALARCON

A Dios, por darme la vida y ser mi amparo y sostén en cada momento, tanto en las alegrías como en las dificultades.

A mi madre y a mi familia, por su amor incondicional, su sacrificio y su apoyo inquebrantable a lo largo de este camino.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Dr. Jorge Tigua, a la Dra. María Esther Castillo y a la Dra. Tatiana Almeida, por su guía, apoyo y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. Su dedicación, conocimientos y acompañamiento fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

A los médicos tratantes del servicio de Traumatología y Ortopedia de los Hospitales General Docente de Calderón, H. Enrique Garcés, H. Eugenio Espejo, H. Baca Ortiz, Nova clínica, Hospital Militar y H. Pablo Arturo Suárez, por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales en un entorno de aprendizaje y compromiso. Agradezco profundamente su calidad humana, su disposición para enseñar, su apoyo constante y la confianza depositada en mi formación, aspectos que contribuyeron significativamente a mi crecimiento profesional y personal.

A mis compañeros del posgrado y a mis amigos Guido Salazar y Víctor Pomaquero por su amistad y confianza brindados a lo largo de este proceso de formación profesional.

.

## AGRADECIMIENTO GUIDO SALAZAR

Agradezco primeramente a Dios por haber guiado durante esta etapa que hoy finaliza de gran manera con un logro alcanzado.

A mis padres por su apoyo incondicional, por siempre guiarme con ejemplo y cariño; a mi esposa y mis hijos por haber sabido comprender los días de ausencia; a mis hermanos por siempre ser un apoyo incondicional en mi vida y a mis abuelos por ser un ejemplo constante.

Quiero agradecer especialmente a todos los médicos tratantes quienes influyeron en mi formación y desarrollo profesional; a los Hospitales que nos abrieron las puertas para el aprendizaje: Hospital Enrique Garces, Hospital Pablo Arturo Suarez, Hospital General Docente de Calderón, Novaclinica Santa Cecilia, Hospital Pediátrico Baca Ortiz, Hospital Carlos Andrade Marín, Hospital Eugenio Espejo, Hospital Militar; muchas gracias por haber hecho de sus espacios áreas del conocimiento para nuestra formación y crecimiento profesional.

A mis compañeros de posgrado y rotaciones por la camaradería y amistad que hizo este tiempo más llevadero; a mi amigo Israel Alarcón con quien compartimos varias rotaciones y ahora estamos finalizando esta etapa con este trabajo de titulación.

**INDICE GENERAL**

DERECHOS DE AUTOR ..... ii

DEDICATORIA ISRAEL ALARCÓN ..... iii

DEDICATORIA GUIDO SALAZAR ..... iv

AGRADECIMIENTO ISRAEL ALARCON ..... i

AGRADECIMIENTO GUIDO SALAZAR ..... i

INDICE GENERAL ..... i

ÍNDICE DE TABLAS ..... iii

ÍNDICE DE FIGURAS ..... iv

ÍNDICE DE ANEXOS ..... iv

RESUMEN ..... v

ABSTRACT ..... vi

1. INTRODUCCIÓN ..... 1

    1.1. Planteamiento del problema ..... 4

2. JUSTIFICACIÓN ..... 6

3. OBJETIVOS ..... 7

    3.1. Objetivo General ..... 7

    3.2. Objetivos específicos ..... 7

4. METODOLOGÍA ..... 8

4.1. Diseño de la investigación ..... 8
4.2. Criterios de elegibilidad ..... 8
4.2.1. Criterios de Inclusión ..... 8
4.2.2. Criterios de Exclusión ..... 8
4.3. Fuentes de información ..... 9
4.4. Estrategia de búsqueda ..... 9
4.5. Selección y cribado de los estudios ..... 10
4.6. Extracción y síntesis de la información ..... 12
4.7. Evaluación del riesgo de sesgo ..... 12
5. RESULTADOS ..... 13
5.1. Descripción de los artículos seleccionados ..... 13
5.2. Síntesis de la evidencia primaria ..... 13
5.3. Síntesis de la evidencia secundaria ..... 21
6. DISCUSIÓN ..... 25
6.1. Limitaciones y fortalezas ..... 28
7. CONCLUSIONES ..... 29
8. RECOMENDACIONES ..... 30
9. DECLARACION DE CONFLICTO DE INTERES ..... 31
10. PLAN DE PUBLICACIÓN ..... 32
10.1 Título del estudio ..... 32

10.2 Tipo de estudio ..... 32

10.3. Objetivo de publicación ..... 32

10.4 Público objetivo ..... 32

10.5 Selección de revista científica ..... 32

10.6 Estructura del artículo (según PRISMA) ..... 33

10.7 Normas y guías ..... 34

10.8 Cronograma de actividades ..... 34

10.9 Consideraciones éticas ..... 34

10.10 Estrategia de difusión ..... 35

10.11. Recursos necesarios ..... 35

11. REFERENCIA (APA 7MA EDICIÓN) ..... 36

12. ANEXOS ..... 45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Artículos que aportan evidencia primaria. ..... 14

Tabla 2. Síntesis de la evidencia primaria ..... 17

Tabla 3. Síntesis de la evidencia secundaria ..... 22

Tabla 4. Cronograma de actividades del plan de publicación ……...34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama PRISMA .....11

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de chequeos de PRISMA..... 45

Anexo 2. Evaluación de estudios observacionales (Newcastle Ottawa)..... 47

Anexo 3. Evaluación del estudio controlado aleatorizado..... 48

## RESUMEN

**Introducción:** Los defectos óseos (DO) suponen un reto terapéutico en traumatología debido a la complejidad de su reconstrucción, especialmente cuando coexisten con procesos infecciosos. A pesar de la diversidad de técnicas quirúrgicas disponibles, la determinación de cuál es la más efectiva y segura sigue siendo objeto de debate. **Objetivo:** Evaluar la eficacia y los resultados funcionales de la técnica de membrana inducida frente al transporte/alargamiento óseo en la reconstrucción de defectos óseos de extremidades mediante una revisión sistemática de la literatura científica. **Metodología:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura, con un enfoque analítico comparativo, basada en la metodología PRISMA. Se seleccionaron publicaciones de los últimos cinco años, de bases de datos como MEDLINe/PubMed, Scopus, Cochrane Library, Web of Science, SciELO, Lilacs y Elsevier. Se utilizaron términos Mesh y operadores booleanos. se identificaron 7275 artículos y se seleccionaron 14. Se realizó una síntesis narrativa, ya que los estudios disponibles no eran apropiados para un metaanálisis. **Resultados:** La efectividad de ambas técnicas fue similar en cuanto a resultados clínicos y funcionales en la mayoría de los estudios. La técnica de Ilízarov, aunque muy efectiva en defectos de gran tamaño, parece relacionarse con un mayor riesgo de complicaciones. La técnica de Masquelet se consideró de efectividad similar, pero más segura. **Conclusiones:** Con ambas técnicas se puede reconstruir un defecto óseo complejo. El perfil de seguridad y efectividad dependen de las particularidades de cada caso. La elección del tratamiento debe basarse en un enfoque personalizados y en la experiencia del cirujano. Se necesitan estudios más amplios, que abarquen más pacientes y seguimiento en el tiempo para tener un aporte de mayor calidad al respecto.



**Palabras clave:** defectos óseos, osteogénesis por distracción, Masquelet, efectividad, seguridad.

## ABSTRACT

**Introduction**: Bone defects present a therapeutic challenge in traumatology due to the difficulty of reconstruction, particularly in complex defects with concomitant infections. Although several surgical techniques exist for their reconstruction, the most effective and safest method remains a subject of debate. **Objective:** To evaluate the efficacy and functional outcomes of the induced membrane technique compared to bone transport/lengthening in the reconstruction of bone defects of extremities through a systematic review of the scientific literature. Methodology: A systematic literature review was conducted using a comparative analytical approach, based on the PRISMA methodology. Publications from the last five years were selected from databases such as MEDLINe/PubMed, Scopus, Cochrane Library, Web of Science, SCIELO, LILACS, and Elsevier. MeSH terms and Boolean operators were used. 7275 articles were identified, and 14 were selected. A narrative synthesis was performed, as the available studies were not suitable for a meta-analysis. **Results**: The effectiveness of both techniques was similar in terms of clinical and functional outcomes in most studies. The Ilizarov technique, although very effective for large defects, appears to be associated with a higher risk of complications. The Masquelet technique was considered similarly effective but safer. **Conclusions:** Both techniques can reconstruct a complex bone defect. The safety and effectiveness profile depends on the specific characteristics of each case. The choice of treatment should be based on a personalized approach and the surgeon's experience. Larger studies are needed, encompassing more patients and follow-up over time, to provide a higher quality contribution on this matter.



**Keywords**: bone defects, distraction osteogenesis, effectiveness, Masquelet, safety.

# 1. INTRODUCCIÓN

El término defecto óseo (DO) indica la pérdida de continuidad en un segmento de la membrana cortical y del canal medular, que supera la capacidad del hueso de repararse fisiológicamente (Huang et al., 2022) y, si las dimensiones de esta pérdida son tales que superan los 2 cm de longitud y, una pérdida mayor al 50 % de la circunferencia ósea; que requieren de una intervención quirúrgica para consolidarse, entonces se trata de un defecto óseo de tamaño crítico. Los DOS se consideran uno de los problemas más retadores de la traumatología actual y, representan tratamientos prolongados, con poca certeza en los resultados (Tsang et al., 2024).

Los DO se clasifican según su etiología, morfología y alcance. Etiológicamente, pueden ser consecuencia de traumatismos con fractura expuesta, resecciones tumorales o procesos infecciosos; asimismo, pueden surgir como una secuela quirúrgica tras múltiples intervenciones o la resección de zonas extensas de tejido óseo desvitalizado (Migliorini et al., 2021).

Teniendo en cuenta su morfología, los defectos óseos pueden ser segmentarios (pérdida de contacto cortical, con una brecha total entre los extremos) o cavitarios (pérdida ósea contenida al interior del hueso) y, según sus dimensiones, se consideran lesiones menores cuando miden menos de 2 cm y, son críticos si superan esta medida (Tetsworth et al., 2021). Aunque los DO críticos no son muy frecuentes, se estima que hasta el 10 % de las fracturas de huesos largos pueden tener problemas en la consolidación y pueden necesitar tratamiento quirúrgico (Kołodziejczyk et al., 2024).

Entre los tratamientos más frecuentes para los DO destacan la técnica de membrana inducida (Masquelet) y el transporte óseo mediante distracción osteogénica (Ilízarov y variantes). La primera fomenta la osteogénesis mediante un entorno biológico propicio, sin necesidad de

infraestructura hospitalaria compleja ni habilidades microquirúrgicas, mientras que la segunda permite regenerar hueso en longitud y volumen, aunque requiere tratamientos prolongados con fijadores externos y presenta complicaciones propias, mostrando sin embargo buenos resultados en defectos extensos (Aktuglu et al., 2019; Bornot et al., 2024; Montero-Ortiz & Garay-Villamar, 2023; Yunga et al., 2025).

Debido a la proximidad de las estructuras neurovasculares, la técnica de Masquelet suele preferirse en la reconstrucción de miembros superiores para minimizar la lesión neurovascular relacionada con la distracción. Además, la técnica de Ilízarov puede utilizarse tanto para lesiones extensas de huesos como de tejidos blandos. Sin embargo, la fijación externa se relaciona con molestias para el paciente y diversas posibles complicaciones. Las complicaciones inmediatas incluyen daño neurovascular durante la inserción de clavos o la corticotomía. Las complicaciones tempranas se relacionan con sangrado, infección del trayecto de los clavos, fallo del material, anomalías sensoriales debidas al estiramiento de los nervios, síndrome compartimental y trombosis venosa profunda. Las complicaciones tardías incluyen osteomielitis, consolidación prematura en el sitio regenerativo o pseudoartrosis (Leonetti et al., 2025).

La literatura actual reporta resultados favorables tanto con la técnica Masquelet como con la técnica de Ilízarov, pero no existe un consenso universal sobre el enfoque óptimo. Al analizar la evidencia sobre la efectividad de la técnica de la membrana inducida (técnica Masquelet), se encontró que en el estudio de Fung et al. (2020) se determinó que el 82,3 % de los casos logró la consolidación tras la segunda etapa del procedimiento. El tiempo medio hasta la consolidación fue de 6,6 meses (1,4 a 58,7) tras la segunda etapa y, la probabilidad de desarrollar una pseudoartrosis aumentó significativamente en los pacientes que tenían una infección preoperatoria.

Por su parte, Cho et al. (2022) y Kołodziejczyk et al. (2024) establecieron que la técnica de la membrana inducida es efectiva, se asocia con menor período de seguimiento, con un nivel relativamente alto de comodidad para el paciente y buenos resultados clínicos en el tratamiento de DO de más de 50 mm con etiología particularmente infecciosa.

Con respecto a la técnica de transporte óseo (Técnica de Ilízarov); se han informado tasas globales de consolidación del 95 %, con resultados funcionales y óseos favorables, a pesar de la presencia de complicaciones como las infecciones de los pines, o la limitación funcional dada por rigidez y dolor articular. Estos autores respaldaron la fiabilidad del tratamiento de los métodos de Ilízarov en los defectos óseos. Además, nuestros hallazgos revelaron que la combinación de las técnicas de Ilízarov con otras técnicas podría ser una opción viable para la reconstrucción de defectos óseos. (Xie et al., 2023).

También existe evidencia de investigaciones que han comparado ambas técnicas. En una revisión sistemática reciente, Wakefield et al. (2023) determinaron que no hay diferencias clínicas en los resultados de los pacientes tratados con una u otra técnica; aunque sí identificaron perfiles de complicaciones diferentes; hubo consolidación en el 94,6 % de los pacientes con la técnica de Ilízarov y en el 88,0 % de los pacientes con la técnica de Masquelet; sin embargo, esta diferencia no fue significativa. Para el número de reintervenciones no planificadas, tasas de refracción y tasa de amputación, tampoco se documentaron diferencias estadísticamente significativas entre las opciones de tratamiento.

En otra revisión sistemática de Marrara et al. (2024) concluyeron que las tasas de consolidación son similares con ambas técnicas (79,4 % para Ilízarov y 85 % para Masquelet); y que la técnica de Ilízarov ofrece un tratamiento más prolongado (osciló entre 1,2 y 37 meses, con una media de 10,5 meses), con mayor tasa de complicaciones; en promedio una complicación por

cada paciente, las más frecuentes fueron uniones tardías o falta de unión (48,8%); deformidades angulares > 5° (17,1%); refracturas (7,1%); infecciones profundas (5,3%); discrepancias en la longitud de las piernas > 2,5 cm (7,1%). Con la técnica de Masquelet las principales complicaciones fueron pseudoartrosis (29,8 %), infecciones (35,1 %) y amputaciones (7 %).

En esta revisión sistemática se sintetiza la evidencia científica de los últimos cinco años en la que se han comparado ambas técnicas de tratamiento quirúrgico para el manejo de los DO, con lo que se espera contribuir a la toma de decisiones al momento de planificar el tratamiento en estos pacientes, según la técnica que se relacione con mejor efectividad, capacidad funcional, menor cifra de complicaciones e intervenciones, de acuerdo con la evidencia académica disponible.

### 1.1. Planteamiento del problema

El aumento en la expectativa de vida y la mayor exposición a traumatismos de alta energía han incrementado la incidencia de los DO, que también pueden originarse tras desbridamientos en fracturas expuestas o infecciones óseas. Estas lesiones generan pérdida ósea con repercusiones significativas en la calidad de vida, produciendo acortamientos, deformidades angulares, rigidez articular, alteraciones de la marcha e incluso riesgo de amputación (Bornot et al., 2024; Monclou et al., 2024; Vargas Morales & Sullca Farge, 2022).

A pesar de su amplia aplicación, la evidencia disponible sobre ambas técnicas es heterogénea y dispersa. Los resultados varían según la población, la localización y el tamaño del defecto, así como la experiencia quirúrgica. Algunos estudios reportan que la técnica de membrana inducida reduce el tiempo hasta la consolidación y mejora la funcionalidad, mientras que otros señalan que el transporte óseo ofrece resultados comparables en consolidación y recuperación de la movilidad. Esta falta de consenso dificulta la selección de la técnica más adecuada y limita la

toma de decisiones clínicas basadas en evidencia (Alba & Cervantes, 2021; Antonio et al., 2024; Huang et al., 2022; Yunga et al., 2025).

La evidencia disponible en la literatura es heterogénea y muestra resultados que favorecen indistintamente a una u otra técnica, lo cual dificulta la formulación de recomendaciones clínicas precisas. Aún no existe un consenso definitivo respecto al método que ofrece mejores resultados globales, tanto en términos de eficacia (consolidación y tiempo hasta la unión) como de funcionalidad (recuperación del miembro y calidad de vida) (Quesada et al., 2023; Yunga et al., 2025).

De forma que, aunque la literatura científica reciente equipara ambas técnicas en cuanto a efectividad en el tratamiento de los defectos óseos, el problema al que se da respuesta con esta revisión sistemática se relaciona con un vacío en la información sobre la idoneidad de cada una de estas técnicas; según sus resultados clínicos, funcionales y tasa de complicaciones; lo que evidencia la necesidad de un compendio de la mejor evidencia disponible, que facilite la toma de decisiones al momento de planificar el abordaje terapéutico de los pacientes con defectos óseos; por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: *¿Son similares en cuanto a eficacia y resultados funcionales las técnicas de membrana inducida y la técnica de transporte o alargamiento óseo en la reconstrucción de defectos óseos**?***

## 2. JUSTIFICACIÓN

La importancia de esta revisión sistemática radica en que aporta una síntesis de calidad de la evidencia académica sobre las investigaciones que han comparado la eficacia y los resultados funcionales de ambas técnicas quirúrgicas (técnicas de membrana inducida y la técnica de transporte o alargamiento óseo). Esto es relevante porque, la reconstrucción de DO se reconoce como uno de los retos más importantes en el campo de la cirugía ortopédica (Quek et al., 2024), ya que estos defectos se relacionan con un incremento de la morbilidad, gran necesidad de intervenciones, y un tiempo prolongado de recuperación (Tsang et al., 2024)

A pesar de que han existido avances importantes en el tratamiento quirúrgico de los DO, las técnicas más utilizadas son la Masquelet (técnica de la membrana inducida) y la técnica de Ilizarov (técnica de transporte óseo) y, aunque la mayoría de las investigaciones disponibles indican que ambas tienen resultados similares, aún es preciso profundizar en la idoneidad de una u otra técnica en cuanto a su relación con la recuperación funcional, número de intervenciones necesarias, o tasa de complicaciones (Cho et al., 2022; Hamiti et al., 2023; Tsang et al., 2024).

Es por lo que, la motivación para realizar esta revisión sistemática se relaciona con la necesidad de contar con una síntesis de la mejor evidencia científica disponible sobre la efectividad y seguridad de las técnicas de Masquelet e Ilízarov en el manejo de los DO. Con esto, se espera contribuir a incrementar la calidad de la atención a los pacientes con este problema, con un compendio de la información actual, basado en la evidencia y, se justifica el desarrollo de esta revisión sistemática. Con los resultados que se obtengan se beneficiarán los profesionales sanitarios que atienden este tipo de problemas de salud, ya que contarán con una síntesis de la mejor evidencia reciente sobre el tema, lo que les facilitará la planificación del tratamiento de los pacientes con defectos óseos.

# 3. OBJETIVOS

## *3.1. Objetivo General*

Evaluar la eficacia y los resultados funcionales de la técnica de membrana inducida frente al transporte/alargamiento óseo en la reconstrucción de DO de extremidades mediante una revisión sistemática de la literatura científica.

## *3.2. Objetivos específicos*

- Comparar la tasa de unión y el tiempo hasta la consolidación ósea entre ambas técnicas.
- Comparar los resultados funcionales reportados para ambas técnicas en los estudios incluidos
- Evaluar la incidencia de complicaciones asociadas a cada procedimiento.
- Identificar los factores clínicos y quirúrgicos que pueden influir en la elección de una u otra técnica

# 4. METODOLOGÍA

## 4.1. Diseño de la investigación

Se realizó una revisión sistemática de la literatura, con un enfoque analítico comparativo, basada en la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021). El protocolo de esta revisión fue revisado y aprobado por el comité de ética de la PUCE.

## 4.2. Criterios de elegibilidad

### *4.2.1. Criterios de Inclusión*

- Estudios que comparen directamente las dos técnicas o estudios que reporten resultados cuantificables para cada técnica.
- Estudios clínicos (ensayos clínicos aleatorizados, estudios de cohorte, estudios comparativos retrospectivos o prospectivos, publicaciones que comparen o analicen la técnica de membrana inducida Masquelet frente a la técnica de transporte/alargamiento óseo en pacientes entre 16 y 65 años.
- Estudios que aporten evidencia secundaria sobre la comparación entre ambas técnicas, como revisiones sistemáticas y metaanálisis.
- Pacientes entre 16 y 65 años que presente defecto óseo posterior a trauma, pseudoartrosis u osteomielitis.
- Defectos óseos de extremidades (tibia, fémur, húmero, radio y cubito).
- Estudios publicados entre los años 2020-2025.

### *4.2.2. Criterios de Exclusión*

- Estudios con pacientes menores de 16 años o mayores de 65 años.

- Series de casos que no proporcionen información suficiente o estandarizada sobre los desenlaces clínicos (*outcomes*) de interés, lo que impida su análisis comparativo dentro de la revisión.
- Estudios donde la reconstrucción combinó otras técnicas no distinguibles.
- Cartas al editor, resúmenes sin texto completo.

### 4.3. Fuentes de información

Se utilizaron fuentes de información primarias y secundarias, conformadas por artículos científicos publicados en bases de datos especializadas como MEDLINe/PubMed, Scopus, Cochrane Library, Web of Science, SciELO, Lilacs y Elsevier.

### 4.4. Estrategia de búsqueda

Se utilizó una estrategia de búsqueda basada en una pregunta PICO: **P:** Pacientes de 16 a 65 años, con DO posterior a trauma, pseudoartrosis u osteomielitis. **I:** Técnica de membrana inducida (Masquelet). **C:** Técnica de transporte óseo con distracción osteogénica (técnica de Ilízarov o variantes). **O:** Tasas de consolidación ósea, tiempo hasta la consolidación, resultados funcionales, número de intervenciones, complicaciones.

Para realizar la búsqueda se emplearon ecuaciones basadas en términos Mesh/DeCS y operadores booleanos, que se combinaron con términos de búsqueda comunes, con los que se elaboraron las siguientes ecuaciones, como se muestra a continuación:

- "Masquelet technique" OR "induced membrane" versus "bone transport" OR "distraction osteogenesis" OR Ilizarov AND bone defect"Bone defects" repair with "induced membrane technique" AND "bone transport" OR "distraction osteogenesis"
- "Bone defects" repair with "induced membrane technique" AND "bone transport"

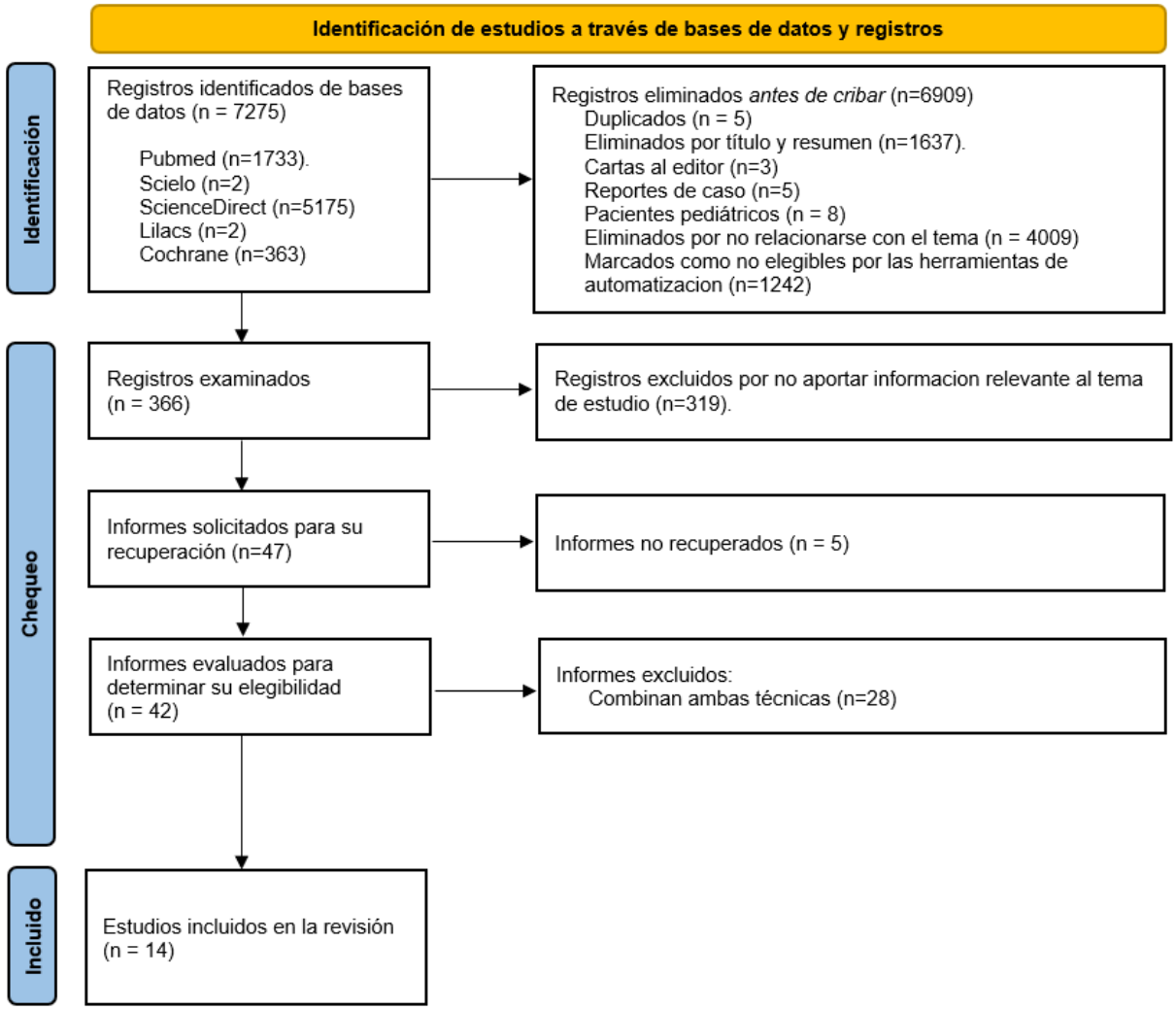
- “Osteogénesis por distracción” AND “membrana inducida” AND “defectos óseos” AND “Regeneración ósea”.
- text (("defecto óseo" OR "defecto óseo segmentario" OR "defecto crítico" OR "bone defect*" OR "segmental defect*") AND (masquelet OR "membrana inducida" OR "induced membrane" OR "técnica de Masquelet" OR "transporte óseo" OR "distracción osteogénica" OR Ilizarov) AND (resultado* OR desenlace* OR "resultado funcional" OR "functional outcome" OR "salvataje de extremidad")).
- ("Bone Defects"[Mesh] OR bone defect*[tiab] OR segmental defect*[tiab] OR "critical-size"[tiab]) AND (masquelet[tiab] OR "induced membrane"[tiab] OR "Masquelet technique"[tiab] OR "Osteogenesis, Distraction"[Mesh] OR "Bone Lengthening"[Mesh] OR "Ilizarov Technique"[Mesh] OR "bone transport"[tiab]) AND ("Treatment Outcome"[Mesh] OR outcome*[tiab] OR union[tiab] OR "functional outcome*"[tiab] OR "Quality of Life"[Mesh]) AND ("2020/01/01"[dp] : "2025/12/31"[dp]) AND English[lang] AND Humans[Mesh]

### 4.5. Selección y cribado de los estudios

Para seleccionar y cribar los artículos se siguieron las recomendaciones de la declaración PRISMA. Al aplicar la estrategia de búsqueda descrita, se identificaron los artículos elegibles por su título y resumen; se exportaron a un gestor bibliográfico (Mendeley), y se eliminaron de forma automática los duplicados. Después, se desarrolló el proceso de cribado en dos etapas; en la primera, se analizaron los artículos por su título y resumen, con lo que se verificó que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión y se eliminaron los que no aportaban información relevante a tema de estudio. En la segunda etapa, se realizó la lectura crítica de texto completo con

los artículos potencialmente útiles, considerando el tipo de población, defecto óseo, la técnica quirúrgica, los resultados clínicos y funcionales. En este punto, se registraron los motivos por los que se excluyeron los estudios que no cumplían con estos criterios. Este proceso de muestra en el Diagrama PRISMA (Figura 1).

*Figura 1. Diagrama PRISMA*




Se identificaron en la búsqueda 7275 artículos, de los que se eliminaron antes de cribar 5 duplicados, 1637 por su título y resumen, 3 cartas el editor, 5 reportes de caso, 8 estudios realizados con pacientes menores de 16 años, 4009 artículos que no se relacionaban con el tema de estudio y

1242 fueron marcados como no elegibles por las herramientas de automatización del cribado. Se examinaron 366 artículos, de los que se eliminaron 319 porque no aportaban información relevante al tema de estudio, 5 estudios de los que solo estaba disponible el resumen, y 28 artículos en los que se evaluaban estas técnicas combinadas, por lo que solamente 14 artículos fueron seleccionados para esta revisión sistemática.

### 4.6. Extracción y síntesis de la información

La extracción de datos se llevó a cabo mediante una matriz diseñada en *Excel*, con revisión independiente por dos investigadores. Se recopiló información referente a: Autor, año de publicación, país, tipo de estudio. Características de la población. Técnica de reconstrucción ósea utilizada. Resultados clínicos y funcionales reportados. Complicaciones postoperatorias descritas. El análisis de los datos consistió inicialmente en una síntesis cualitativa de los hallazgos. Se valoró la posibilidad de realizar un metaanálisis, pero solo dos estudios aportaron información para esto, con un resultado dicotómico para fusión e infecciones (si/no), por lo que no se consideró pertinente la síntesis cuantitativa.

### 4.7. Evaluación del riesgo de sesgo

La calidad metodológica y el riesgo de sesgo se evaluó utilizando herramientas validadas según el diseño del estudio: *Cochrane Risk of Bias 2.0* (Cochrane Bias Methods Group, 2019) para ensayos clínicos aleatorizados, la *Escala de Newcastle-Ottawa (NOS)*(Wells et al., 2021) para estudios observacionales y, para las revisiones sistemáticas, se usó la lista de chequeos de PRISMA (Page et al., 2021). Ver anexos 1 a 3.

# 5. RESULTADOS

## 5.1. Descripción de los artículos seleccionados

Formaron parte de esta revisión sistemática 14 publicaciones académicas de los últimos cinco años (Abdou et al., 2020; Abou-Seif et al., 2020; Akhoundzadeh et al., 2024; Benulic et al., 2020; Bezstarosti et al., 2021; Gupta et al., 2022; Hamiti et al., 2022; Li et al., 2023; Marrara et al., 2024; Ren et al., 2022; Rohilla et al., 2022; Y. Shen et al., 2025; Tsang et al., 2024; Wakefield et al., 2024; Zhang et al., 2024), de estos como fuente de evidencia primaria, cinco estudios de cohorte retrospectivo (Abou-Seif et al., 2020; Gupta et al., 2022; Hamiti et al., 2022; Tsang et al., 2024; Zhang et al., 2024); un ensayo prospectivo aleatorizado (Rohilla et al., 2022) y, siete investigaciones que aportan evidencia secundaria, tres revisiones sistemáticas (Akhoundzadeh et al., 2024; Benulic et al., 2020; Marrara et al., 2024) y dos metaanálisis (Bezstarosti et al., 2021; Wakefield et al., 2023).

## 5.2. Síntesis de la evidencia primaria

En cuanto a los artículos de evidencia primaria, en estos se incluyeron 261 pacientes adultos y predominaron los hombres (n= 224; 85,8 %). Del total de pacientes, la técnica de Masquelet se usó en 133 pacientes y la técnica de Ilízarov en 128 pacientes. Los defectos óseos predominantes fueron por fracturas abiertas de huesos largos, particularmente de miembros inferiores, con o sin infecciones, secundarios a trauma. Clasificación Gustilo IIIB/C en la mayoría de los estudios (Abou-Seif et al., 2020; Gupta et al., 2022; Hamiti et al., 2022; Tsang et al., 2024; Zhang et al., 2024). En la Tabla se muestran las características de estas investigaciones

*Tabla 1. Artículos que aportan evidencia primaria.*

| Autor (año) | Tipo de estudio | Defectos óseos | Edad (media) | N | Masquelet | Ilízarov | Hombres | Mujeres |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abdou et al. (2020) | Retrospectivo | Fractura abierta de la tibia (Gustilo III) | 36,5 años | 14 | 10 | 4 | 12 | 2 |
| Abou-Seif et al. (2020) | Cohortes retrospectivo | Defectos óseos grandes de extremidad inferior (tibia/fémur), postraumáticos; incluye casos infectados y no infectados | 35,2 años | 40 | 20 | 20 | 29 | 11 |
| Rohilla et al. (2021) | Ensayo prospectivo aleatorizado | Pseudoartrosis (No unión) infectada de tibia; brecha intraoperatoria media 3.92 cm (Ilízarov) vs 3.79 cm (Masquelet) | 39,7 años | 25 | 13 | 12 | 23 | 2 |
| Gupta et al. (2022) | Cohortes retrospectivo | Defecto de huesos largos de las extremidades inferiores de más de 3 cm. | 44 años | 24 | 12 | 12 | 22 | 2 |
| Hamiti et al. (2022) | Cohortes retrospectivo | Defectos óseos > 6 cm | 41,3 años | 36 | 18 | 18 | 26 | 10 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tsang et al. (2024) | Cohortes retrospectivo | Defectos diafisarios segmentarios de huesos largos (Gustillo IIIB) | 39, 8 años | 57 | 25 | 32 | 63 | 33 |
| Zhang et al. (2024) | Cohortes retrospectivo | Defectos tibiales y de tejidos blandos y fracturas expuestas (Gustilo IIIB/C) | 46,5 años | 65 | 35 | 30 | 49 | 16 |

En uno de los estudios, al tratarse de una serie de casos pequeña (14 casos), no pudo establecerse diferencias notables entre ambas técnicas en cuanto a los resultados funcionales y clínicos. En ambos grupos de estudio los resultados son comparables. En el grupo de transporte óseo, la duración promedio de la fijación externa fue de 245 días. En el grupo Masquelet, la duración de la primera etapa fue de 95 días. La tasa de consolidación ósea fue del 85,7 % a los 12 meses, sin embargo; se identificaron diferencias en cuanto a las complicaciones, que fueron más frecuentes entre los pacientes de transporte óseo: fallo completo del colgajo (7,1 %), amputación tras el fracaso del transporte óseo y osteomielitis crónica con pseudoartrosis infectada (7,1 %) (Abdou et al., 2020).

En cuanto a los resultados clínicos, en cuatro estudios se observó que la técnica de membrana inducida (Masquelet) es superior a la técnica de transporte óseo (Ilízarov) en sus resultados clínicos, tiempo de recuperación, a incidencia de complicaciones(Abou-Seif et al., 2020; Gupta et al., 2022; Rohilla et al., 2022; Zhang et al., 2024). Con respecto a las tasas de unión,

para la técnica de Masquelet fueron de 75 % en dos estudios (Abou-Seif et al., 2020; Gupta et al., 2022), mientras que para Ilízarov se reportó 67,5 % (Abou-Seif et al., 2020) y 67 % (Gupta et al., 2022). En el estudio de Rohilla et al. (2022) la técnica de Masquelet obtuvo mejores resultados en el tiempo de la unión (7.31 *vs* 11.66 meses) y, la unión se produjo todos los casos de ambos grupos. Mientras que en el estudio de Tsang et al. (2024), la tasa de unión para la técnica de Ilízarov fue superior a la de Masquelet (90,6 % vs 72 %; $p<0,05$).

Con respecto a las complicaciones, en dos estudios se reportaron resultados similares con ambas técnicas, aunque favorecen la técnica de Masquelet. En el estudio de Abdou et al. (2020), las complicaciones fueron más frecuentes para la técnica de Ilízarov, reportaron fallo completo del colgajo (7,1 %), amputación tras el fracaso del transporte óseo y osteomielitis crónica con pseudoartrosis infectada (7,1 %). La duración media de fijación externa (Ilízarov): 245 días (rango: 47 a 686 días) y la duración media con Masquelet fue 95 días (rango: 42–181).

En el estudio de Hamiti et al. (2022) se reportó menos incarceración de tejidos blandos y menos unión retardada o fallo de la unión; $p<0,05$). El tiempo promedio de fijación externa fue 293,8 ± 12,1 días en el grupo Ilízarov frente a 287,5 ± 15,3 días en el grupo que combina Ilízarov + Masquelet. La duración media de la unión por acoplamiento fue de 210,7 ± 33,6 días para Ilízarov frente a 179,7 ± 22,9 días para Ilízarov + Masquelet.

Según los autores consultados, el éxito de la técnica de Masquelet depende en gran medida del control que se realice de las infecciones y, de que se logre formar adecuadamente la membrana, por lo que, en los casos en los que exista el antecedente de infección en el lugar del defecto óseo, los resultados de la reconstrucción pueden verse limitados (Abou-Seif et al., 2020; Tsang et al., 2024).

Por otra parte, la técnica de transporte óseo (Ilízarov) alcanzó mejores resultados clínicos en una investigación, la probabilidad de unión (solución del defecto óseo) fue de 90 % en pacientes del grupo de transporte óseo, frente al 72% del grupo de membrana inducida (Tsang et al., 2024); además, entre los defectos óseos que consolidaron, no hubo diferencia en el tiempo hasta la consolidación ósea entre ambas las estrategias; (mediana: 8,33 meses (IC 95 %: 7,4-9,2 meses); adicionalmente, la técnica de membrana inducida se asoció con un riesgo de sepsis del 40 % (en un total de 25 pacientes) (Tsang et al., 2024).

En el estudio de Zhang et al. (2024) se logró la consolidación completa de los defectos óseos y de tejidos blandos en todos los casos. El tiempo medio de consolidación ósea fue de 6 meses (rango: 3-12 meses) en el grupo de Masquelet y de 11 meses (rango: 6-23 meses) en el grupo Ilízarov, con una diferencia significativa entre ambos grupos ($Z = –4,11$; $p = 0,001$).

En la Tabla 2 se presenta la síntesis de la evidencia de los artículos que aporratan evidencia primaria.

*Tabla 2. Síntesis de la evidencia primaria*

| **Autor (año)** | **Resultados funcionales** | **Resultados clínicos** | **Complicaciones** | **¿Cuál técnica es más efectiva?** |
|---|---|---|---|---|
| Abdou et al. (2020) | Resultados similares, no detallados explícitamente en el artículo. | Unión ósea (radiográfica) global: 85,7% (no diferencia entre grupos). Duración media de fijación externa (Ilízarov): 245 días (rango: 47 días a 686 días). Duración media | Mayor incidencia de complicaciones con la técnica de Ilízarov. Fallo completo del colgajo (7,1 %), amputación tras el fracaso del transporte óseo y | Efectividad similar, aunque con la técnica de Ilízarov se describen más complicaciones. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | de la primera etapa (Masquelet): 95 días (42–181). | osteomielitis crónica con pseudoartrosis infectada (7,1 %). | |
| Abou-Seif et al. (2020) | La técnica de Ilízarov es superior (ASAMI funcional medio mayor: 23.75 vs 20.57). | La técnica de Masquelet se asoció con mejores tasa de unión (75% vs 67.5%). | La técnica de Masquelet se asocia con menos complicaciones (37,5% vs 50%). | La técnica de Masquelet mostró ser superior en cuanto a efectividad y seguridad |
| Gupta et al. (2022) | Resultados similares | Resultados similares, aunque se describe una ligera ventaja con Masquelet (unión: 75% vs 67%). | La técnica de Masquelet se asoció con menos complicaciones (infección: 8,3% en Ilízarov vs 0% en Masquelet). Mayor dolor con la técnica de Ilízarov. | La técnica de Masquelet mostró ser superior en cuanto a efectividad y seguridad |
| Hamiti et al. (2022) | Resultados similares | Mejores resultados para la técnica de Masquelet combinada con transporte óseo. (Menor tiempo de unión del docking (179,7 vs 210,7 días). | Mejores resultados para la técnica de Masquelet combinada con transporte óseo (menos incarceración de tejidos blandos y | Efectividad similar, aunque con la técnica de Ilízarov se describen más complicaciones |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | menos unión retardada o fallo de la unión; p<0,05). | |
| Rohilla et al. (2021) | La técnica de Ilízarov obtuvo mejores resultados funcionales (ASAMI funcional: "excelente" 42.85% en transporte vs 6.25% en Masquelet; p =0,047). | La técnica de Masquelet obtuvo mejores resultados en el tiempo de la unión (7.31 vs 11.66 meses). La unión se produjo en el 100 % de los casos en ambos grupos). | Mejores resultados para la técnica de Masquelet (menos complicaciones globales, pin-tract 0% en Masquelet vs 25.71 % en Ilízarov). | La técnica de Masquelet mostró ser superior en cuanto a efectividad y seguridad |
| Tsang et al. (2024) | Resultados similares | La técnica de Ilízarov obtuvo mejores resultados (unión: 90,6% vs 72%; p<0,05). | La técnica de Ilízarov obtuvo mejores resultados (sepsis: 9,38% vs 40% en Masquelet). | La técnica de Ilízarov mostró ser superior en cuanto a efectividad y seguridad |
| Zhang et al. (2024) | Resultados similares | Se logró la consolidación completa de los defectos óseos y de tejidos blandos en todos los casos. El tiempo medio de | No se observaron diferencias significativas en la tasa de infección con Masquelet (17,1 %) e Ilízarov (26,7 %) | La técnica de Masquelet fue superior en efectividad y seguridad que la técnica de Ilízarov. |

| | | |
|---|---|---|
| | consolidación ósea fue de 6 meses (rango: 3-12 meses) en el grupo de Masquelet y de 11 meses (rango: 6-23 meses) en el grupo Ilízarov, con una diferencia significativa entre ambos grupos (Z = –4,11; p = 0,001). La estancia hospitalaria media fue de 28 días (rango: 14-67 días) en el grupo Masquelet, significativamente mayor que la estancia media de 18 días (rango: 10-43 días) en el grupo Ilízarov (Z = –2,608; p = 0,009). | ($\chi^2$ = 0,867; p = 0,352). Las puntuaciones totales de salud física fueron de 81,51 ± 6,86 (rango 67-90) para Masquelet y de 75,83 ± 16,14 (rango 44-98) para Ilízarov, sin diferencias significativas entre ambos grupos (t = 1,894, p = 0,063). |

### 5.3. Síntesis de la evidencia secundaria

Por otra parte, los estudios que aportaron evidencia secundaria se enfocaron en la comparación de ambas técnicas en cuanto a los resultados físicos, funcionales y, las complicaciones (Akhoundzadeh et al., 2024; Benulic et al., 2020; Bezstarosti et al., 2021; Marrara et al., 2024; Ren et al., 2022; Y. Shen et al., 2025; Wakefield et al., 2024).

De estos estudios, tres reportaron resultados clínicos y funcionales similares con ambas técnicas quirúrgicas (Bezstarosti et al., 2021; Marrara et al., 2024; Wakefield et al., 2023). En la revisión de Bezstarosti et al. (2021) se describe con la técnica de Masquelet una curación del 83% después del protocolo inicial, mientras que con la técnica de Ilízarov el porcentaje de curación fue de 94 %. Para Marrara et al. (2024), con la técnica de Masquelet se obtuvo una tasa global de unión de 85 % en comparación con un 79,4 % para Ilízarov, mientras que, según Wakefield et al. (2023), se obtuvo un 94,6 % de unión con la técnica de Ilízarov y un 88,0% con la técnica de Masquelet, sin diferencia significativa (p=0,45).

En dos revisiones sistemáticas los resultados parecen favorecer a la técnica de Ilízarov (Akhoundzadeh et al., 2024; Benulic et al., 2020); mientras que, en un estudio, los resultados sugieren que la técnica de Masquelet es más efectiva y segura (Ren et al., 2022).

En el estudio de Akhoundzadeh et al. (2024) el porcentaje de unión ósea alcanzado con la técnica de Ilízarov fue de 94,3% y, con la técnica de Masquelet fue de 89,5%. Según los resultados de Benulic et al. (2020), con la técnica de Ilízarov el porcentaje de unión estivo entre 92% y el 100% y, con la técnica de Masquelet, fue de 42 % a 100%.

Por otra parte, para Ren et al. (2022) hubo una diferencia significativa en el tiempo de consolidación final (diferencia de medias de -4,54 [IC 95%: -6,91, -2,17] meses, p = 0,0002), el

tiempo hasta la carga completa (diferencia de medias: -1,73 [IC 95%: -3,36, -0,10] meses, p = 0,04), la calidad de vida (diferencia de medias; 7,70 [IC 95%: 4,74, 10,67], p < 0,00,001) y el riesgo de complicaciones (OR: 0,39 [IC 95%: 0,19, 0,79], p = 0,009) entre los grupos Masquelet e Ilízarov, respectivamente.

En la Tabla 3 se muestra la descripción de estos estudios.

*Tabla 3. Síntesis de la evidencia secundaria*

| **Autor (año)** | **Tipo de estudio** | **Resultados clínicos y funcionales** | **Complicaciones postoperatorias** | **¿Cuál técnica es más efectiva?** |
|---|---|---|---|---|
| Akhoundzadeh et al. (2024) | Revisión de alcance | Porcentaje de unión ósea: 94,3% (Ilízarov), 89,5% (Masquelet). | Recurrencia de infección: 1,6% (transporte), 14,4% (Masquelet), 7,0% | La técnica de Ilízarov parece ser superior en cuanto a efectividad y seguridad |
| Benulic et al. (2020) | Revisión Sistemática | Unión ósea: 92 a 100% (Ilízarov) vs 42 a 100% (Masquelet). Infección: 0–4% (Ilízarov). | Complicaciones sépticas: 12% a 43% en la técnica de Masquelet. | La técnica de Ilízarov parece ser superior en cuanto a efectividad y seguridad |
| Bezstarosti et al. (2021) | Revisión sistemática y metaanálisis | Curación tras protocolo inicial: 83% con Masquelet, vs 94% con Ilízarov (p>0,05). | Recurrencia de infección: 8%. Amputación: 3% Similar con ambas técnicas | Ambas técnicas parecen ser similares en cuanto a afectividad u seguridad |
| Marrara et al. (2025) | Revisión sistemática | Tasa global de unión: 79,4% (Ilízarov) vs 85% (Masquelet). | Promedio de complicaciones por paciente: 1.0 (Ilízarov) vs 0.5 | Ambas técnicas parecen ser similares en cuanto |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Desenlaces clínicos y radiológicos similares | (Masquelet). Desenlaces similares. | a afectividad u seguridad |
| Ren et al. (2022) | Metaanálisis | Diferencias significativas a favor de Masquelet: menor costo de hospitalización, menor tiempo final hasta unión, menor tiempo a carga completa y mejor calidad de vida postoperatoria. el tiempo de consolidación final (diferencia de medias de -4,54 [IC 95%: -6,91, -2,17] meses, p = 0,0002), el tiempo hasta la carga completa (diferencia de medias: -1,73 [IC 95%: -3,36, -0,10] meses, p = 0,04), la calidad de vida (diferencia de medias; 7,70 [IC 95%: 4,74, 10,67], p | Menor riesgo de complicaciones con Masquelet vs Ilízarov (OR 0.39; p=0.009). | La técnica de Masquelet parece ser superior en cuanto a efectividad y seguridad |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | < 0,00,001) y el riesgo de complicaciones (OR: 0,39 [IC 95%: 0,19, 0,79], p = 0,009) entre los grupos Masquelet e Ilízarov, respectivamente. | | |
| Wakefield et al. (2024) | Revisión sistemática y metaanálisis | Resultados similares con ambas técnicas. Unión: 94.6% (Ilízarov) vs 88.0% (Masquelet), sin diferencia significativa (p=0.45). Eliminación de infección: 93.0% vs 80.4%, sin diferencia significativa (p=0.06). | Resultados similares con ambas técnicas. | Ambas técnicas parecen ser similares en cuanto a afectividad u seguridad |
| Shen et al. (2025) | Revisión sistemática y metaanálisis | Resultados similares con ambas técnicas. No se hallaron diferencias significativas en los desenlaces clínicos. | Resultados similares con ambas técnicas. | Ambas técnicas parecen ser similares en cuanto a afectividad u seguridad |

# 6. DISCUSIÓN

El principal resultado de esta revisión sistemática sugiere que ambas técnicas de reparación de los defectos óseos (Masquelet e Ilízarov) tienen resultados similares, son seguras y efectivas en cuanto a resultados clínicos, recuperación funcional y tasa de complicaciones (Abdou et al., 2020; Bezstarosti et al., 2021; Marrara et al., 2024; Y. Shen et al., 2025; Wakefield et al., 2023), la técnica de Masquelet parece ser algo superior en comparación con la Ilízarov. En la mayoría de los estudios se asocia con tasas de fusión elevadas, buena recuperación funcional y, menor tasa de complicaciones postoperatorias, en comparación con la técnica de Ilízarov (Abdou et al., 2020; Abou-Seif et al., 2020; Gupta et al., 2022; Hamiti et al., 2022; Ren et al., 2022; Rohilla et al., 2022).

Estos resultados son concordantes con los de otras revisiones sistemáticas similares, en las que se evidencia que ambas técnicas son similares en su efectividad (Allesina et al., 2023; Seng et al., 2024). Estos autores encontraron que el 64 % de los pacientes con la técnica Masquelet obtuvo resultados clínicos excelentes/buenos en comparación con el 82,8 % con la técnica de Ilízarov ($p = 0,01$); además, la deformidad residual postoperatoria fue del 1,9 % con el método de Ilizarov frente al 9,7 % con la técnica Masquelet ($p = 0,02$).

En esta línea de ideas, en el estudio de Seng et al. (2024) se determinó que entre ambos procedimientos no existieron diferencias estadísticas en cuanto al éxito del procedimiento, la consolidación primaria, los resultados óseos y funcionales. Con respecto a las tasas de complicaciones, con la técnica de Ilízarov se reportaron en un 78,6 % de los casos, mientras que con la técnica de Masquelet, fueron significativamente inferiores 38,5 %, los autores citados concluyeron que ambas técnicas son seguras y eficaces, pero con la técnica de Masquelet, parece haber mayor seguridad, lo que coincide con los resultados de esta revisión.

Por otra parte, Li et al. (2023) también sustentan los resultados de esta revisión, argumentan que ambas técnicas son igualmente efectiva; además, la técnica Masquelet puede ser más adecuada para defectos en huesos cortos y, para pacientes con defectos óseos más extensos que no toleran un tratamiento prolongado y presentan un cumplimiento deficiente; mientras que la técnica de Ilízarov puede ser de elección en pacientes que buscan cargar peso antes o que presentan afecciones de piel y tejidos blandos comprometidas, infecciones más graves y menos defectos óseos.

Adicionalmente, estos hallazgos se alinean con los de J. Shen et al. (2023), que en un estudio similar determinaron que con la técnica de Masquelet la consolidación ósea final superior al 90 %, y la tasa de recurrencia de la infección fue del 10 %. El tiempo medio de consolidación ósea también es menor que con otras técnicas y, la necesidad de procedimientos adicionales para lograr la consolidación ósea fue baja, con lo que se confirma que esta técnica es fiable y eficaz para el tratamiento de defectos óseos infectados; a pesar de esto, también reportaron que los pacientes con defectos tibiales tratados con esta técnica tuvieron una alta tasa de infección y una baja tasa de consolidación.

Esto pudiera estar relacionado con la importancia de realizar un desbridamiento radical, con la eliminación de todo el tejido muerto, que muchas veces es el factor detrás de la falla de este tratamiento; además, es un procedimiento que implica varios tiempos quirúrgicos y etapas de tratamiento, por lo que, si se omite cualquier detalle, pudiera llevar a no obtener los resultados esperados. En el éxito del tratamiento también influye el material utilizado. Se sabe que la membrana se induce por una reacción a un cuerpo extraño, lo que resulta en la implantación de un espaciador en un defecto óseo; es por lo que, la composición del material y las características de la superficie del espaciador afectan la formación de la membrana inducida, influyendo en la adhesión celular, la proliferación, la diferenciación y otros resultados (Wu et al., 2025).

Por otra parte, los artículos consultados en esta revisión sistemática son consistentes en que, aunque la técnica de Ilízarov es igualmente efectiva que la de Masquelet, y suele ser bastante efectiva en defectos óseos de gran tamaño (Akhoundzadeh et al., 2024; Benulic et al., 2020), se asocia con una mayor tasa de complicaciones (Abdou et al., 2020; Hamiti et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Esto se explica por las características de esta técnica, que implica el uso de fijadores externos por un tiempo prolongado, la complejidad del tratamiento con los ajustes requeridos del fijador, y los factores que se relacionan con la regeneración ósea con esta técnica, las infecciones de los pines y, las alteraciones del tejido blando circundante. Además, esta técnica suele usarse más en defectos óseos de mayor tamaño y complejidad, en los que el área del defecto y la gravedad de la herida son más graves, lo que resulta en un riesgo relativamente mayor de complicaciones postoperatorias con el colgajo. Además, mientras mayor sea el tiempo de tratamiento, mayor será el riesgo de complicaciones postoperatorias (Cao et al., 2022).

De forma general, los resultados de esta revisión sistemática son consistentes con la evidencia disponible. Se determinó que tanto la técnica de la membrana inducida (Masquelet) como la técnica de distracción ósea (Ilízarov) pueden ser efectivas en la reconstrucción de defectos óseos complejos, aunque la segunda parece ser superior en defectos óseos de mayor tamaño y complejidad; a pesar de esto, también se asocia con mayor riesgo de complicaciones, a largo plazo, que pueden tener un impacto notable en la recuperación y la calidad de vida de los pacientes. En este punto, es evidente que la selección de una u otra técnica debe basarse en la evaluación personalizada del riesgo, características de la lesión y las necesidades reales del paciente, sin perder de vista la experiencia del cirujano.

### 6.1. Limitaciones y fortalezas

Como principal limitación, se identificó que no abundan los ensayos clínicos aleatorizados sobre este tema, sino que la evidencia disponible proviene mayormente de estudios observacionales, lo que limita el alcance y la generalización de los resultados. Por otra parte, se detectó que los estudios disponibles son muy heterogéneos, en cuanto a las características del defecto óseo, tamaño y localización, lo que también afecta la generalización de los resultados.

A pesar de esto, la revisión sistemática tiene como fortaleza que los estudios que aportaron evidencia primaria establecen comparaciones directas entre ambas técnicas, que se pudo contrastar con estudios de revisión sistemática (evidencia secundaria), lo que permitió tener un contexto más amplio sobre los reportes en tasas de unión o complicaciones.

## 7. CONCLUSIONES

La literatura consultada ofrece resultados variables en cuanto a la efectividad y seguridad de ambas técnicas de reconstrucción de defectos óseos complejos. En varios artículos se equiparán sus resultados, con capacidad de consolidación y resultados funcionales similares; sin embargo, la técnica de distracción ósea (Ilízarov) se relacionó con mayor riesgo de complicaciones en la mayoría de los estudios, relacionadas con los pines y los elementos del sistema de fijación externa.

Por otra parte, la técnica de la membrana inducida (Masquelet) parece ser superior en varios de los estudios consultados, se relacionó con mejores resultados en cuanto a la fusión, menor tiempo de recuperación y, una tasa de complicaciones inferior, mayormente relacionadas con el control de las infecciones, pero la mayor parte de esta evidencia proviene de estudios observacionales, por lo que debe interpretarse cautelosamente.

Se evidenció la importancia de un abordaje quirúrgico personalizado de los defectos óseos complejos, según la magnitud del defecto, el estilo de vida de los pacientes, sus expectativas y necesidades reales. La experiencia del cirujano también juega un rol protagónico en el éxito del tratamiento; así como su capacidad de desarrollar una adecuada relación médico paciente, ya que este último debe tener un alto grado de compromiso con su recuperación para contribuir al éxito del tratamiento.

Con esta revisión sistemática se identificó la necesidad de realizar más estudios controlados aleatorizados sobre este tema, ya que la mayor parte de la evidencia proviene de estudios observacionales y de fuentes secundarias, en los que no se estandarizan la evaluación de los resultados clínicos o funcionales, y esto limita el alcance de estos resultados.

## 8. RECOMENDACIONES

Planificar y desarrollar investigaciones robustas, aleatorizadas, con seguimiento a largo plazo, de los resultados clínicos y funcionales de ambas técnicas de reconstrucción de los defectos óseos complejos en adultos; con medición de resultados estandarizados, para aportar evidencia de mejor calidad que facilite la toma de decisiones con estos pacientes.

A nivel institucional, es recomendable implementar protocolos de manejo de los defectos óseos complejos, con énfasis en la prevención y tratamiento de las complicaciones que derivan del tratamiento quirúrgico.

Crear un registro local de pacientes con defectos óseos complejos, de forma que se pueda facilitar las investigaciones futuras sobre el manejo de esta compleja enfermedad.

## 9. DECLARACION DE CONFLICTO DE INTERES

Los autores, Israel Alberto Alarcón Segovia y Guido Vinicio Salazar Bustamante, responsables del trabajo de titulación titulado **"Eficacia y resultados funcionales de la técnica de membrana inducida frente al transporte o alargamiento óseo en la reconstrucción de defectos óseos: una revisión sistemática"**, manifiestan que no mantienen ningún tipo de conflicto de intereses, ya sea de índole personal, profesional, académica o económica, que pudiera haber influido en el desarrollo o en los resultados de la presente investigación.

De igual manera, se deja constancia de que este estudio no contó con financiamiento externo proveniente de instituciones públicas o privadas que pudiera comprometer la objetividad del análisis realizado. La elaboración del trabajo se sustentó en una revisión rigurosa, crítica y ética de la evidencia científica disponible.

Por lo tanto, los autores asumen plena responsabilidad sobre el contenido del presente documento, asegurando el cumplimiento de principios de transparencia, honestidad y rigor académico en su realización

**Autores:**







Israel Alberto Alarcón Segovia

Guido Vinicio Salazar Bustamante

**Fecha:** 20 de marzo de 2026

# 10. PLAN DE PUBLICACIÓN

## 10.1 Título del estudio

Eficacia y resultados funcionales de la técnica de membrana inducida frente al transporte o alargamiento óseo en la reconstrucción de defectos óseos: una revisión sistemática

## 10.2 Tipo de estudio

Revisión sistemática de la literatura científica.

## 10.3. Objetivo de publicación

Difundir los hallazgos de la investigación mediante su publicación en una revista científica indexada, con el propósito de aportar a la evidencia existente sobre las técnicas de reconstrucción de defectos óseos y su influencia en los resultados funcionales.

## 10.4 Público objetivo

- Médicos especialistas en Traumatología y Ortopedia
- Médicos residentes asistenciales y de posgrado de Traumatología y Ortopedia
- Investigadores en cirugía reconstructiva ósea
- Profesionales de Terapia Física y rehabilitación
- Médicos generales

## 10.5 Selección de revista científica

Se considerarán revistas indexadas en bases como:

- Scopus

- PubMed/MEDLINE
- SciELO

**Revistas sugeridas:**

- Injury
- Journal of Orthopaedic Surgery and Research
- International Orthopaedics
- Revista Latinoamericana de Cirugía Ortopédica

**Criterios de selección:**

- Factor de impacto
- Tiempo de revisión
- Idioma de publicación (inglés/español)
- Costos de publicación

### 10.6 Estructura del artículo (según PRISMA)

- Título
- Resumen estructurado (Abstract)
- Introducción
- Metodología (criterios de inclusión/exclusión, estrategia de búsqueda, PRISMA)
- Resultados
- Discusión
- Conclusiones

- Referencias bibliográficas

### 10.7 Normas y guías

- Declaración PRISMA para revisiones sistemáticas
- Normas de la revista seleccionada
- Estilo de citación (Vancouver o APA según revista)

### 10.8 Cronograma de actividades

*Tabla 4: Cronograma de actividades del plan de publicación*

| Actividad | Tiempo estimado |
|---|---|
| **Adaptación del manuscrito a formato de revista** | 2 semanas |
| **Revisión por autores y tutor** | 1–2 semanas |
| **Traducción al inglés (si aplica)** | 1 semana |
| **Envío a revista** | 1 semana |
| **Proceso de revisión por pares** | 2 – 4 meses |
| **Correcciones y reenvío** | 2 – 3 semanas |
| **Publicación final** | 3 – 6 meses |

### 10.9 Consideraciones éticas

- No requiere aprobación de comité de ética (por ser revisión sistemática, dependiendo de normativa local)
- Declaración de conflicto de intereses
- Transparencia en la selección de artículos

### 10.10 Estrategia de difusión

- Presentación en congresos de ortopedia
- Publicación en repositorio institucional
- Difusión en redes académicas (ResearchGate, Google Scholar)

### 10.11. Recursos necesarios

- Acceso a bases de datos científicas
- Software gestor de referencias (Zotero, Mendeley)
- Apoyo en traducción científica (opcional)

## 11. REFERENCIA (APA 7MA EDICIÓN)


Abdou, S. A., Stranix, J. T., Daar, D. A., Mehta, D. D., McLaurin, T., Tejwani, N., Saadeh, P. B., Levine, J. P., Leucht, P., & Thanik, V. D. (2020). Free Tissue Transfer with Distraction Osteogenesis and Masquelet Technique Is Effective for Limb Salvage in Patients with Gustilo Type IIIB Open Fractures. *Plastic and Reconstructive Surgery*, *145*(4), 1071-1076. https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000006696

Abou-Seif, S., Thakeb, M., Yousry, A., Mahran, M., Fayyad, T., & Kotb, M. (2020). Membrane induced osteogenesis (masquelet technique) versus bone transport in management of large bone defects of the lower limb. *Ain Shams Medical Journal*, *71*(1), 161-170. https://doi.org/10.21608/asmj.2020.106411

Akhoundzadeh, D., Bloemers, F. W., Verhofstad, M. H. J., Schoonmade, L. J., & Geeraedts, L. M. G. (2024). Which surgical technique may yield the best results in large, infected, segmental non-unions of the tibial shaft? A scoping review. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, *50*(4), 1537-1545. https://doi.org/10.1007/s00068-024-02478-y

Aktuglu, K., Erol, K., & Vahabi, A. (2019). Ilizarov bone transport and treatment of critical-sized tibial bone defects: a narrative review. *Journal of Orthopaedics and Traumatology : Official Journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology*, *20*(1), 22. https://doi.org/10.1186/S10195-019-0527-1

Alba, Y., & Cervantes, J. (2021). Recuperación de pérdida ósea en pseudoartrosis infectada de tibia con técnica de transporte óseo de Bastiani. *Orthotips*, *17*(2), 75-81. https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2021/ot212c.pdf

Allesina, L., Alessio-Mazzola, M., Belluati, A., Mosca, S., Placella, G., & Salini, V. (2023). Surgical treatment of critical size bone defects with Masquelet technique versus bone transport: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, *143*(12), 7081-7096. https://doi.org/10.1007/S00402-023-05049-9

Antonio, D., Maldonado, M., Israel, D., Maldonado, O., Esteban, S., Robles, G., Jefferson, E., Tufiño, S., Elizabeth, A., Riofrío, C., Vladimir, B., & Noriega, F. (2024). Actualización en el manejo de los defectos óseos. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, ISSN-e 2789-3855, Vol. 5, Nº. 3, 2024 (Ejemplar dedicado a: LATAM XIII; 415 – 433)*, *5*(3), 60. https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2181

Benulic, C., Canton, G., Gril, I., Murena, L., & Kristan, A. (2020). Management of acute bone loss following high grade open tibia fractures. Review of evidence on distraction osteogenesis and induced membrane techniques. En *Acta Biomedica* (Vol. 91, pp. 1-9). Mattioli 1885. https://doi.org/10.23750/abm.v91i14-S.10890

Bezstarosti, H., Metsemakers, W. J., van Lieshout, E. M. M., Voskamp, L. W., Kortram, K., McNally, M. A., Marais, L. C., & Verhofstad, M. H. J. (2021). Management of critical-sized bone defects in the treatment of fracture-related infection: a systematic review and pooled analysis. En *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* (Vol. 141, Número 7, pp. 1215-1230). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/s00402-020-03525-0

Bornot, Y., Ferrer, G., Ferrer, M., & Santana, J. (2024). Técnica de Masquelet modificada con células madre mesenquimales en el tratamiento quirúrgico de defectos óseos segmentarios |

Archivo Médico Camagüey. *Archivo Médico de Camagüey* , *28*(2), 10282-10296. https://revistaamc.sld.cu/index.php/amc/article/view/10282/4970

Cao, Z., Zhang, Y., Lipa, K., Qing, L., Wu, P., & Tang, J. (2022). Ilizarov Bone Transfer for Treatment of Large Tibial Bone Defects: Clinical Results and Management of Complications. *Journal of Personalized Medicine*, *12*(11), 1774. https://doi.org/10.3390/JPM12111774

Cho, J. W., Kent, W. T., Kim, J. K., Jeong, S. H., Sakong, S., Kim, H., Son, W. S., Lim, E. J., Choi, W., & Oh, J. K. (2022). Outcome of multi-staged induced membrane technique based on post-debridement cultures for the management of critical-sized bone defect following fracture-related infection. *Scientific Reports*, *12*(1). https://doi.org/10.1038/S41598-022-26746-2

Cochrane Bias Methods Group. (2019). *A revised tool to assess risk of bias in randomized trials (RoB 2)*. https://methods.cochrane.org/bias/resources/rob-2-revised-cochrane-risk-bias-tool-randomized-trials

Fung, B., Hoit, G., Schemitsch, E., Godbout, C., & Nauth, A. (2020). The induced membrane technique for the management of long bone defects. *The Bone & Joint Journal*, *102-B*(12), 1723-1734. https://doi.org/10.1302/0301-620X.102B12.BJJ-2020-1125.R1

Gupta, G. K., Majhee, A. K., Rani, S., Shekhar, S., Prasad, P., & Chauhan, G. (2022). A comparative study between bone transport technique using Ilizarov/LRS fixator and induced membrane (Masquelet) technique in management of bone defects in the long bones of lower limb. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, *11*(7), 3660-3666. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_2447_21

Hamiti, Y., Yalikun, A., Lu, C., Yusufu, A., & Yushan, M. (2023). Ilizarov technique in the treatment of bone defects of the radius and ulna: a systematic review and meta-analysis.

*Journal of Orthopaedic Surgery and Research 2023 18:1*, *18*(1), 642-. https://doi.org/10.1186/S13018-023-04126-4

Hamiti, Y., Yushan, M., Yalikun, A., Lu, C., & Yusufu, A. (2022). Matched comparative study of trifocal bone transport versus induced membrane followed by trifocal bone transport in the treatment of segmental tibial defects caused by posttraumatic osteomyelitis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *23*(1). https://doi.org/10.1186/s12891-022-05501-8

Huang, E. E., Zhang, N., Shen, H., Li, X., Maruyama, M., Utsunomiya, T., Gao, Q., Guzman, R. A., & Goodman, S. B. (2022). Novel Techniques and Future Perspective for Investigating Critical-Size Bone Defects. *Bioengineering 2022, Vol. 9, Page 171*, *9*(4), 171. https://doi.org/10.3390/BIOENGINEERING9040171

Kołodziejczyk, K., Ropielewski, A., Garlewicz, R., Złotorowicz, M., & Czubak, J. (2024). Clinical Observations of the Effectiveness of the Masquelet Induced Membrane Technique in the Treatment of Critical Long-Bone Defects of the Lower and Upper Extremities. *Medicina 2024, Vol. 60, Page 1933*, *60*(12), 1933. https://doi.org/10.3390/MEDICINA60121933

Leonetti, D., Siracusano, L., Schick, V. D., Marrara, G., Larizza, L., Brigandì, M., Alibrandi, A., Sanzarello, I., Nanni, M., & Zampogna, B. (2025). Treatment of Post-Traumatic Diaphyseal and Distal Tibial Bone Defects by Distraction Osteogenesis: A Monocentric Experience. *Journal of Clinical Medicine 2025, Vol. 14, Page 7933*, *14*(22), 7933. https://doi.org/10.3390/JCM14227933

Li, Z., Liu, J., Li, C., Wu, M., Li, Y., Cui, Y., Xiong, W., Yang, F., & Liu, B. (2023). Advances in the Application of Bone Transport Techniques in the Treatment of Bone Nonunion and Bone

Defects. En *Orthopaedic Surgery* (Vol. 15, Número 12, pp. 3046-3054). Sociedade Brasileira de Matematica Aplicada e Computacional. https://doi.org/10.1111/os.13936

Marrara, G., Zampogna, B., Schick, V. D., Larizza, L., Rizzo, P., Sanzarello, I., Nanni, M., & Leonetti, D. (2024). Post-Traumatic Segmental Tibial Defects Management: A Systematic Review of the Literature. *Applied Sciences*, *15*(1), 64. https://doi.org/10.3390/app15010064

Migliorini, F., La Padula, G., Torsiello, E., Spiezia, F., Oliva, F., & Maffulli, N. (2021). Strategies for large bone defect reconstruction after trauma, infections or tumour excision: a comprehensive review of the literature. *European Journal of Medical Research*, *26*(1), 118. https://doi.org/10.1186/s40001-021-00593-9

Monclou, G., Acosta, D., Adolfo, G., & Bodu, E. (2024). Técnica de Masquelet modificada para la reconstrucción de defecto óseo femoral de 16 centímetros: reporte de caso. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología, 38*(3), 75-86. https://revistasccot.org/index.php/rccot/article/view/75/554

Montero-Ortiz, L. M., & Garay-Villamar, D. G. (2023). Técnica de Masquelet en manejo de defectos óseos de diáfisis de la tibia. *MQRInvestigar*, *7*(4), 3053-3069. https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.4.2023.3053-3069

Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Quek, J., Vizetto-Duarte, C., Teoh, S. H., & Choo, Y. (2024). Towards Stem Cell Therapy for Critical-Sized Segmental Bone Defects: Current Trends and Challenges on the Path to Clinical Translation. *Journal of Functional Biomaterials 2024, Vol. 15, Page 145*, *15*(6), 145. https://doi.org/10.3390/JFB15060145

Quesada, A., Ávila, F. V., Pontoriero, G. H., & Filisetti, J. E. (2023). Transporte sobre clavo respetando la membrana de Masquelet en defectos segmentarios severos. Serie de casos. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, *88*(1), 79-90. https://doi.org/10.15417/ISSN.1852-7434.2023.88.1.1570

Ren, C., Li, M., Ma, T., Li, Z., Xu, Y., Sun, L., Lu, Y., Wang, Q., Xue, H., & Zhang, K. (2022). A meta-analysis of the Masquelet technique and the Ilizarov bone transport method for the treatment of infected bone defects in the lower extremities. *Journal of Orthopaedic Surgery*, *30*(2). https://doi.org/10.1177/10225536221102685

Rohilla, R., Sharma, P. K., Wadhwani, J., Das, J., Singh, R., & Beniwal, D. (2022). Prospective randomized comparison of bone transport versus Masquelet technique in infected gap nonunion of tibia. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, *142*(8), 1923-1932. https://doi.org/10.1007/s00402-021-03935-8

Seng, D. W. R., Oh, C. W., Kim, J. W., Park, K. H., Oh, J. K., & Yoon, Y. C. (2024). Induced membrane technique with plate fixation has a lower complication rate than bone transport over a plate for segmental tibial defects larger than 5 cm. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, *144*(5), 1881-1888. https://doi.org/10.1007/S00402-024-05262-0

Shen, J., Wei, Z., Wang, S., Wang, X., Lin, W., Liu, L., & Wang, G. (2023). Treatment of infected bone defects with the induced membrane technique. *Bone and Joint Research*, *12*(9), 546-558. https://doi.org/10.1302/2046-3758.129.BJR-2022-0439.R2/LETTERTOEDITOR

Shen, Y., Yang, Q., Cheng, H., Feng, Y., Liu, Y., & Hu, J. (2025). Evaluation of the comparative efficacy and safety of surgical strategies for long bone defects: a network meta-analysis. *International journal of surgery (London, England)*, *111*(4), 3030-3039. https://doi.org/10.1097/JS9.0000000000002283

Tetsworth, K. D., Burnand, H. G., Hohmann, E., & Glatt, V. (2021). Classification of bone defects: An extension of the orthopaedic trauma association open fracture classification. *Journal of Orthopaedic Trauma*, *35*(2), 71-76. https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001896

Tsang, S. T. J., van Rensburg, A. J., van Heerden, J., Epstein, G. Z., Venter, R., & Ferreira, N. (2024). The management of critical bone defects: outcomes of a systematic approach. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, *34*(6), 3225. https://doi.org/10.1007/S00590-024-04050-1

Vargas Morales, R. E., & Sullca Farge, M. U. (2022). Pseudoartrosis atrófica humeral tratada mediante técnica de Masquelet con autoinjerto peroneal no vascularizado. *Rev. cuba. ortop. traumatol*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-215X2022000400004&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Wakefield, S. M., Papakostidis, C., Giannoudis, V. P., Mandía-Martínez, A., & Giannoudis, P. V. (2023). Distraction osteogenesis versus induced membrane technique for infected tibial non-unions with segmental bone loss: a systematic review of the literature and meta-analysis of

available studies. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, *50*(3), 705. https://doi.org/10.1007/S00068-023-02375-W

Wakefield, S. M., Papakostidis, C., Giannoudis, V. P., Mandía-Martínez, A., & Giannoudis, P. V. (2024). Distraction osteogenesis versus induced membrane technique for infected tibial non-unions with segmental bone loss: a systematic review of the literature and meta-analysis of available studies. En *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* (Vol. 50, Número 3, pp. 705-721). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/s00068-023-02375-w

Wells, G., Shea, B., O´Connel, D., Peterson, J., & Welch, V. (2021). *The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses*. https://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp

Wu, J. H., Bao, Q. W., Wang, S. K., Zhou, P. Y., & Xu, S. G. (2025). Mechanisms of the Masquelet technique to promote bone defect repair and its influencing factors. *Chinese Journal of Traumatology - English Edition*, *28*(3), 157-163. https://doi.org/10.1016/J.CJTEE.2024.04.003;CTYPE:STRING:JOURNAL

Xie, L., Huang, Y., Zhang, L., Si, S., & Yu, Y. (2023). Ilizarov method and its combined methods in the treatment of long bone defects of the lower extremity: systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *24*(1), 891. https://doi.org/10.1186/s12891-023-07001-9

Yunga, A., Palaguachi, A., & Zuñiga, F. (2025). Transporte óseo, una técnica confiable para tratar defectos óseos segmentarios asociados a infecciones graves, a propósito de un caso.

*FACSALUD-UNEMI*, *9*(16), 25-28. https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol9iss16.2025pp25-28p

Zhang, Q., Kang, Y., Wu, Y., Ma, Y., Jia, X., Zhang, M., Lin, F., & Rui, Y. (2024). Masquelet combined with free-flap technique versus the Ilizarov bone transport technique for severe composite tibial and soft-tissue defects. *Injury*, *55*(6). https://doi.org/10.1016/j.injury.2024.111521

# 12. ANEXOS

*Anexo 1. Lista de chequeos de PRISMA*

| Ítem | Criterio PRISMA | Descripción e | Akhoundzadeh 2024 | Benulic 2020 | Bezstarosti 2021 | Marrara | Ren 2022 | Wakefield | Shen 2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Título | Identifica el informe como revisión sistemática, metaanálisis o ambos | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Resumen estructurado | Resumen con antecedentes, objetivos, fuentes, criterios, métodos, resultados, limitaciones, conclusiones | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | Razonamiento | Justifica la revisión en el contexto del conocimiento existente | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | Objetivos | Preguntas explícitas (PICOS) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | Protocolo y registro | Indica existencia de protocolo/registro (p.ej., PROSPERO) | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 6 | Criterios de elegibilidad | Características del estudio e informe, con justificación | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Fuentes de información | Bases de datos, contactos, fechas de búsqueda | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | Búsqueda | Estrategia completa reproducible para ≥1 base | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | Selección de estudios | Proceso de selección (cribado, elegibilidad, inclusión) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | Proceso de extracción | Métodos de extracción, revisores, obtención de datos | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | Ítems de datos | Variables buscadas y definiciones | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | Riesgo de sesgo en estudios individuales | Métodos de evaluación RoB/quality | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | Medidas resumen | RR/OR/MD etc o equivalente | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | Síntesis de resultados | Manejo de datos y métodos de combinación; I2 etc | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | Sesgo a través de estudios | Evaluación de sesgo de publicación/selectivo | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | Análisis adicionales | Subgrupos/sensibilidad/meta-regresión, etc | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 17 | Selección de estudios | Nº cribados/incluidos; diagrama de flujo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | Características de estudios | Características por estudio; citas | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | Riesgo de sesgo dentro de estudios | Presenta datos RoB/quality por estudio | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | Resultados de estudios individuales | Datos por grupo + estimaciones, forest etc | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | Síntesis de resultados | Resultados de metaanálisis u otra síntesis | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | Sesgo a través de estudios | Resultados de sesgo publicación etc | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | Análisis adicionales | Resultados de subgrupos/sensibilidad | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | Resumen de evidencia | Resumen hallazgos, fuerza evidencia, implicaciones | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 | Limitaciones | Limitaciones a nivel de estudio y revisión | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 26 | Conclusiones | Interpretación general y futuras investigaciones | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 27 | Financiación | Fuentes de financiación y rol de financiadores | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | **Cumplimiento (%)** | (Suma de ítems cumplidos / 27) × 100 | **81,5%** | **85,2%** | **85,2%** | **81,5%** | **92,6 %** | **96,3%** | **96,3 %** |

*Anexo 2. Evaluación de estudios observacionales (Newcastle Ottawa)*

| **Autor (año)** | **Tipo de estudio** | S1 Representatividad cohorte expuesta | S2 Selección cohorte no expuesta | S3 Determinación de la exposición | S4 Desenlace no presente al inicio | C1 Comparabilidad (control 1 factor) | C2 Comparabilidad (control factor adicional) | O1 Evaluación del desenlace | O2 Seguimiento suficiente | O3 Adecuación del seguimiento | Puntaje total (0-9) | % cumplimiento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abdou et al. (2020) | Retrospectivo | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 7 | 70,0% |
| Abou-Seif et al. (2020) | Cohorte retrospectivo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 | 80% |
| Gupta et al. (2022) | Cohorte retrospectivo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 | 80% |
| Hamiti et al. (2022) | Cohorte retrospectivo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 100 |
| Tsang et al. (2024) | Cohorte retrospectivo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 | 80% |
| Zhang et al. (2024) | Cohorte retrospectivo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 | 80% |

*Anexo 3. Evaluación del estudio controlado aleatorizado*

| Dominio | Pregunta guía (RoB 2) | Juicio del dominio |
|---|---|---|
| D1 Proceso de aleatorización | 1.1 ¿La secuencia de asignación fue verdaderamente aleatoria? | Algunas preocupaciones |
| D1 Proceso de aleatorización | 1.2 ¿La asignación estuvo oculta hasta incluir y asignar a los participantes? | Algunas preocupaciones |
| D1 Proceso de aleatorización | 1.3 ¿Los grupos fueron similares al inicio (línea base) para variables pronósticas importantes? | Algunas preocupaciones |
| D2 Desviaciones de las intervenciones | 2.1 ¿Participantes y personal estaban cegados respecto a la intervención asignada? | Bajo riesgo |
| D2 Desviaciones de las intervenciones | 2.2 ¿Hubo desviaciones de las intervenciones previstas debido al contexto del ensayo? | Bajo riesgo |
| D2 Desviaciones de las intervenciones | 2.3 ¿El análisis estimó el efecto de la asignación (p.ej., ITT) sin sesgo por no adherencia? | Algunas preocupaciones |
| D3 Datos faltantes del desenlace | 3.1 ¿Los datos del desenlace estuvieron disponibles para casi todos los participantes aleatorizados? | Bajo riesgo |
| D3 Datos faltantes del desenlace | 3.2 ¿La proporción de datos faltantes podría sesgar el resultado? | Bajo riesgo |
| D3 Datos faltantes del desenlace | 3.3 ¿Los datos faltantes dependieron del valor verdadero del desenlace? | Bajo riesgo |
| D4 Medición del desenlace | 4.1 ¿El método de medición del desenlace fue apropiado? | Algunas preocupaciones |
| D4 Medición del desenlace | 4.2 ¿La medición del desenlace pudo diferir entre grupos? | Algunas preocupaciones |
| D4 Medición del desenlace | 4.3 ¿Los evaluadores del desenlace estaban cegados a la intervención? | Bajo riesgo |
| D5 Selección del resultado reportado | 5.1 ¿Los análisis estuvieron preespecificados (protocolo/registro) antes de ver los datos? | Bajo riesgo |
| D5 Selección del resultado reportado | 5.2 ¿Hubo múltiples mediciones/análisis posibles del desenlace y se eligió selectivamente? | Bajo riesgo |
| D5 Selección del resultado reportado | 5.3 ¿El resultado reportado parece consistente con métodos y sin omisiones relevantes? | Bajo riesgo |
| GLOBAL | Juicio global del riesgo de sesgo (RoB 2) | Algunas preocupaciones |