

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO EN ESPECIALIDADES MÉDICAS
POSGRADO EN ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA

DEFECTOS ÓSEOS CRÍTICOS MASIVOS DIAFISIARIOS POSTRAUMÁTICOS DE
MIEMBROS INFERIORES: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y PRESENTACIÓN DE
UNA NUEVA TÉCNICA QUIRÚRGICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DEL
COMITÉ DE ESPECIALIDADES EN ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA PARA
OPTAR POR EL GRADO Y TÍTULO DE ESPECIALISTA EN ORTOPEDIA Y
TRAUMATOLOGÍA

SUSTENTANTE

DR. RICARDO VEGA VALDERRAMA

CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO, COSTA RICA

2024

Dedicatoria

A mis padres y hermanos, por estar siempre presentes y dispuestos a apoyarme en todo momento.

A mi novia, por el apoyo incondicional y por estar siempre dispuesta a ayudarme en todo momento.

Agradecimiento

Le agradezco a todas las personas docentes que tuve durante el camino de mi formación como especialista, así como a los compañeros de la residencia con los que compartí y que fueron parte del profesional que soy actualmente.

Este trabajo final de graduación fue aceptado por el comité de la Especialidad en Ortopedia y traumatología del Programa de Posgrado en Especialidades Médicas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Especialista en Ortopedia y traumatología.



Dr. Raúl Mera Rojas . Médico Asistente Especialista en Ortopedia y Traumatología

Tutor.




Dr. Álvaro Cordero Herrera. Médico Asistente Especialista en Ortopedia y Traumatología

Lector.



Dr. José Roberto Ulloa González. Médico Asistente Especialista en Ortopedia y Traumatología

Lector.



Dr. Esteba Zamora Estrada. Médico Asistente Especialista en Ortopedia y Traumatología

Jefe del Postgrado de Ortopedia y Traumatología.



Ricardo Vega Valderrama

Índice de contenido

Capítulo I. Introducción.....	12
1.1. Justificación.....	13
1.2. Objetivos	13
1.2.1. Objetivo general	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
Capítulo II. Marco teórico.....	15
2.1. Biología ósea	15
2.2. Definición.....	16
2.3. Etiología	18
2.4. Clasificaciones	18
2.5. Manejo inicial.....	26
2.6. Manejo de los defectos óseos segmentarios	27
2.6.1. Injertos óseos	27
2.7. Procedimientos reconstructivos.....	28
2.7.1. Autoinjerto de peroné vascularizado	28
2.7.2. Técnica de membrana inducida (Masquelet y Begue, 2010)	29
2.7.3. Osteogénesis por distracción	32
2.7.4. Transporte óseo	33
2.7.5. Acortamiento agudo y alargamiento	34
Capítulo III. Propuesta de técnica quirúrgica para defectos óseos masivos de miembros inferiores	35
3.1. Descripción de la técnica quirúrgica	35
3.2. Análisis de la técnica	40
Capítulo IV. Discusión y conclusiones	42
Referencias.....	44



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Ricardo Vega Velázquez, con cédula de identidad 304680570, en mi condición de autor del TFG titulado Defectos óseos críticos mesiales diafisarios Posttraumáticos de miembros inferiores: Revisión Bibliográfica y presentación de una nueva técnica quirúrgica.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Ricardo Vega Velázquez

Número de Carné: B17088 Número de cédula: 304680570

Correo Electrónico: rvogavel@unizar.ac.cr

Fecha: 10/10/2024 Número de teléfono: 506 8885 8894

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Raúl Horacio Rojas

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances recaerán a la Universidad, que no contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 118 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo cubra información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 24 de octubre de 2024

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *DEFECTOS ÓSEOS CRÍTICOS MASIVOS DIAFISIARIOS POSTRAUMÁTICOS DE MIEMBROS INFERIORES: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y PRESENTACIÓN DE UNA NUEVA TÉCNICA QUIRÚRGICA*, sustentado por Ricardo Vega Valderrama.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa de la persona autora.

Esperamos que la participación de Filólogos Bórea Costa Rica satisfaga los requerimientos de la Universidad de Costa Rica.

X

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

X

Daniel González Monge
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245

Resumen

Los defectos óseos representan una patología ósea con una gran prevalencia en Latinoamérica. En su mayoría, son consecuencia de traumas de alta energía. Un alto porcentaje de estos casos se asocia con fracturas expuestas tipo III, según la clasificación de Gustillo y Anderson. Sin embargo, también pueden ser generados por infecciones a nivel óseo, resección de tumores o un fallo en un tratamiento quirúrgico.

A pesar de que los defectos óseos son una patología compleja a la que se enfrentan los cirujanos ortopédicos, no existe un consenso que brinde una definición. Esta puede variar según la edad del paciente, las comorbilidades, el mecanismo de trauma y el segmento óseo afectado.

La importancia del diagnóstico y tratamiento oportuno de esta patología tiene como objetivo la prevención de secuelas tempranas, complicaciones y secuelas tardías que afectan la calidad de vida del paciente y la reincorporación a la sociedad. En cuanto al manejo de las fracturas, es de vital relevancia mencionar que algunas de ellas pueden resolverse sin necesidad de realizar ningún procedimiento quirúrgico, o bien aplicar métodos que implican procedimientos terapéuticos más invasivos como la reducción abierta y fijación interna definitiva. Sin embargo, los defectos óseos requieren la aplicación de técnicas de mayor complejidad, que conllevan en algunos casos múltiples cirugías y una participación más activa por parte del paciente.

Actualmente, existen varios métodos quirúrgicos para el tratamiento de esta patología, entre los cuales se pueden mencionar el método de membrana inducida, también llamado técnica de Masquelet y procedimientos de osteogénesis por distracción, con dos de sus técnicas: el transporte y el alargamiento óseo. Las desventajas de estas opciones terapéuticas comúnmente se relacionan con la necesidad de múltiples procesos quirúrgicos, deformidades asociadas, mayor tiempo para la reintegración a la sociedad y problemas psicológicos inherentes al uso de los dispositivos médicos que se utilizan.

Por lo mencionado, en este trabajo se realizó no solo una revisión detallada de la patología, sino de su manejo con enfoque en la técnica de Masquelet y el transporte óseo y se propuso

una técnica quirúrgica que puede disminuir el número de cirugías, el tiempo de recuperación del paciente y, por ende, las posibles complicaciones asociadas.

Lista de figuras

Figura 1 Medición del defecto óseo radiográfico aparente.....	17
Figura 2 Nivel de RABG para no unión	18
Figura 3 Clasificación de los defectos óseos	20
Figura 4 Defectos diafisarios tipo A	21
Figura 5 Defectos diafisarios tipo B y C.....	22
Figura 6 Defectos periarticulares	24
Figura 7 Cálculo de volumen necesario para los defectos óseos	30
Figura 8 Relación entre la distribución de carga con respecto al tamaño del defecto	31
Figura 9 Planeamiento quirúrgico de un defecto óseo crítico masivo	36
Figura 10 Primer tiempo quirúrgico	37
Figura 11 Segundo tiempo quirúrgico	38
Figura 12 Evolución del transporte óseo más Masquelet a un ritmo de 1 mm/día	39
Figura 13 Resultado final de la nueva técnica quirúrgica	40

Lista de abreviaturas

EE. UU.: Estados Unidos de América.

OTA: Orthopaedic Trauma Association.

PMMA: Poly Methyl Methacrylate.

RABG: Radiographic Apparent Bone Gap.

ULBDC: Universal Long Bone Defect Classification.

Capítulo I. Introducción

En el año 2010, la Asociación de Ortopedia y Traumatología (OTA, Orthopaedic Trauma Association) realizó una encuesta a todos sus miembros, compuestos por 1,545 personas en total, sobre los aspectos del tratamiento de la reconstrucción de los defectos óseos críticos. Como resultado, se documentó la inexistencia de un consenso para el manejo de esta patología; a la vez, se evidenció que los cirujanos ortopédicos empleaban técnicas distintas para afrontar este tipo de fracturas complejas (Obremskey *et al.*, 2014).

En la actualidad, 10 años después de esta publicación, aún se carece de una definición sólida que permita describir un defecto óseo crítico. En general, este concepto se utiliza en los casos de lesiones óseas que no tienen un proceso de curación de manera espontánea y requerirán una intervención quirúrgica en el futuro, como los injertos óseos autólogos (Nauth *et al.*, 2018). Debido a la falta de un concepto unificado es importante conocer las bases para lograr un manejo adecuado de esta patología.

Los defectos óseos críticos suelen ocurrir después de traumas de alta energía, que implican una fractura expuesta, asociada a una pérdida de fragmentos óseos o a la desvitalización de estos, a pesar de encontrarse dentro de la herida. Por lo tanto, deben ser retirados debido al alto riesgo de infección. Además, pueden ser causados por un procedimiento quirúrgico, como el tratamiento para una infección ósea o lesiones tumorales que requieren manejos agresivos (Nauth *et al.*, 2018).

Asimismo, el tamaño de la pérdida del fragmento óseo se puede clasificar desde un defecto óseo incompleto, subcrítico y crítico (Tetsworth *et al.*, 2021). Según esta clasificación, se determina el manejo quirúrgico que abarca desde autoinjertos, comenzando con la toma de injerto de la cresta ilíaca hasta injertos de peroné vascularizados, aloinjertos, técnica de membrana inducida y la osteogénesis por distracción, que se puede dividir en transporte óseo y alargamiento, estos últimos son los preferidos.

Los procedimientos reconstructivos son técnicas quirúrgicas que requieren múltiples intervenciones, asocian un tratamiento prolongado y generan una carga psicológica, en muchos casos, atroz, para el paciente. Lo anterior implica la necesidad de una excelente relación médico-paciente, en la que las decisiones recaen sobre ambos.

Por lo plasmado en los párrafos previos surge el interés en describir una nueva técnica quirúrgica que se beneficie de la combinación de las técnicas quirúrgicas que más se utilizan para el abordaje de los defectos óseos críticos. Esto tiene el fin de minimizar las secuelas, tanto físicas como psicológicas de esta patología tan compleja.

1.1. Justificación

El defecto óseo segmentario o defecto óseo crítico es un término que se utiliza en ortopedia que actualmente no posee consenso. Por lo tanto, puede generar confusión entre los cirujanos ortopédicos.

Ante esto, existen algunas clasificaciones que pueden utilizarse para facilitar la comprensión de los defectos óseos y la comunicación entre los médicos tratantes. Además, debido a que son lesiones complejas, su manejo requiere una curva de aprendizaje amplia, ya que existen múltiples opciones de tratamiento. Por ende, el cirujano debe individualizar a cada paciente para abordarlo integralmente. Asimismo, debe comprender que es un proceso largo en el cual se necesita la participación activa del paciente. La técnica quirúrgica que se describe tiene como objetivo evidenciar la disminución del tiempo del tratamiento, la reducción de las complicaciones, la posibilidad de reconstruir segmentos óseos más extensos y la reintegración a la sociedad en menor tiempo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Demostrar que el uso de la técnica quirúrgica de membrana inducida, en combinación con la osteogénesis por distracción, puede abarcar defectos óseos mayores, disminuyendo el tiempo de tratamiento y así mermando las complicaciones asociadas a estos.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Definir el concepto de un defecto óseo después de un trauma agudo.
2. Describir las clasificaciones existentes y su aplicación en la práctica clínica.
3. Analizar las opciones de manejo quirúrgico propuestas en la literatura para los defectos óseos críticos, con énfasis en las indicaciones, las ventajas y las desventajas.

4. Realizar un análisis de los potenciales beneficios de la nueva técnica quirúrgica para el manejo de defectos óseos críticos.

Capítulo II. Marco teórico

2.1. Biología ósea

Para comprender los defectos óseos y su tratamiento es clave iniciar por la estructura biológica del hueso y su proceso de regeneración. El hueso consiste en un sistema vivo que funciona como protección para otros órganos del cuerpo, facilita la movilización mediante el sistema musculoesquelético y es esencial para el procedimiento hematopoyético por medio de la médula ósea, así como para el metabolismo del calcio y fósforo mediante la reabsorción ósea (Seeman, 2008).

La célula con mayor importancia en la formación de los huesos de los humanos es el osteoblasto (*célula formadora de hueso* en griego). Estas son las que se encargan de producir la mayoría de las macromoléculas de la matriz ósea, dentro de las cuales se encuentra el colágeno y las proteínas no colágenas, que forman las estructuras para la mineralización de la matriz, a través del depósito de fosfato de calcio en forma de hidroxapatita (Mizoguchi y Ono, 2021).

Existen dos vías de formación ósea: la intramembranosa y la endocondral. La primera consiste en un mecanismo más directo, en el cual una célula mesenquimal indiferenciada se transforma directamente en un osteoblasto. Esta vía se mantiene activa en los huesos planos, en algunas partes del cráneo y en la clavícula.

Por otro lado, en la formación de hueso endocondral, el objetivo es generar material óseo en gran escala y de una manera organizada a partir de estructuras preformadas de cartílago (Mizoguchi y Ono, 2021). Una vez que el hueso se encuentra formado, se regenera de forma dinámica mediante el proceso de remodelado, el cual se emplea también en la recuperación de una fractura ósea. El procedimiento de remodelado inicia desde la edad fetal y persiste durante toda la vida; se encarga del mantenimiento del hueso por medio de un balance entre la formación ósea y la reabsorción (Seeman, 2008).

El equilibrio dinámico del hueso entre la reabsorción y la formación ósea de manera eficiente previene una fractura, excepto cuando hay una carga excesiva o cargas acumuladas gradualmente, como las fracturas por estrés. En el momento en que existe una fractura, se

inicia un proceso de reparación que se puede dividir en dos vías: reparación directa o intramembranosa, que ocurre cuando hay una separación menor de 1 mm en el sitio de la fractura, por lo tanto, se puede estabilizar mediante un sistema de osteosíntesis; y la reparación indirecta o endocondral, la cual es la forma de curación más común y consiste en cinco fases, formación del hematoma, respuesta inflamatoria, formación del callo blando, formación del callo duro y el remodelado (Seeman, 2008).

2.2. Definición

Un defecto óseo segmentario es una condición extrema en la reparación ósea, la cual evita la recuperación espontánea del hueso por los procesos mencionados. Por consiguiente, provoca una no unión de la fractura.

Debido a lo planteado, un defecto crítico es la pérdida de material óseo en un hueso en particular, que evita la curación espontánea durante toda la vida. Sin embargo, no existe consenso sobre dicho concepto (Seeman, 2008). En mucha literatura se define como defecto crítico un defecto de longitud mayor de 1-2 cm y una pérdida de la circunferencia del hueso mayor al 50 % en el ámbito de la tibia y un defecto de longitud de 6 cm a nivel del fémur. No obstante, también depende de distintas variantes, como la cantidad de circunferencia perdida, el sitio anatómico (metáfisis, diáfisis o articular), el estado del tejido blando, la edad del paciente y la presencia de comorbilidades (Nauth *et al.*, 2018). Por otro lado, existe una medida para calcular el defecto óseo cuando existe asimetría, que consiste en sumar la longitud del defecto en las cuatro corticales y dividirla entre cuatro, el defecto óseo radiográfico aparente, RABG (Radiographic Apparent Bone Gap) (ver la Figura 1).

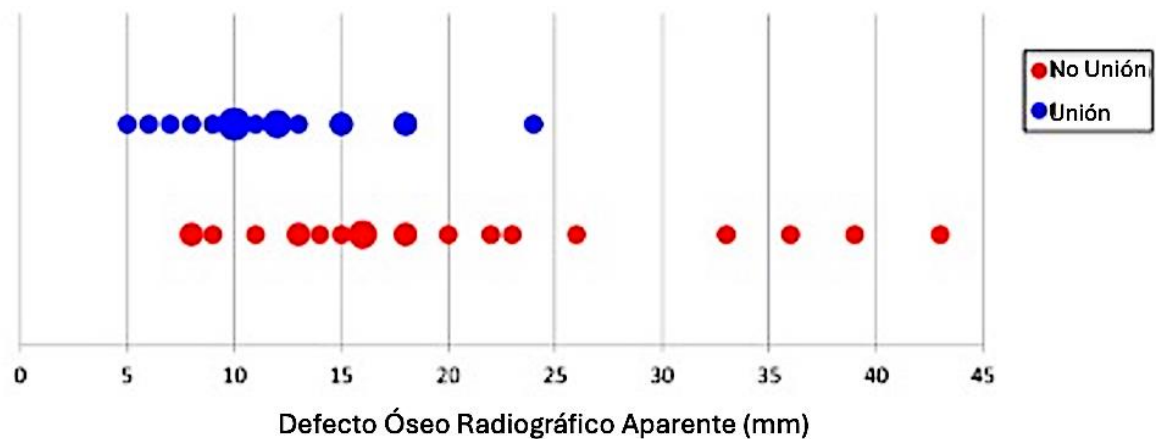
Figura 1
Medición del defecto óseo radiográfico aparente



Fuente: Tetsworth *et al.* (2021).

En un estudio realizado sobre los defectos óseos de la tibia, con base en el RABG, que consistió en tomar pacientes con fracturas de tibia diafisaria expuestas, desde enero de 2007 hasta diciembre de 2013, en el Centro Médico de Carolina, EE. UU., para cada paciente se determinó el RABG y, posteriormente, se realizó la osteosíntesis con un clavo intramedular rimado. El resultado obtenido consistió en que los defectos óseos con RABG menores de 25 mm poseen el 54 % de probabilidades de unión. Sin embargo, en este estudio, los defectos óseos con un RABG mayor de 25 mm sufrieron una no unión. Por ende, se determinó como defectos óseos críticos aquellos con un RABG mayor de 25 mm (ver la Figura 2) (Haines *et al.*, 2016).

Figura 2
Nivel de RABG para no unión



Fuente: Haines *et al.* (2016).

2.3. Etiología

La etiología de los defectos óseos críticos es muy variada; se puede observar en traumas de alta energía, que están asociados a una lesión extensa de tejidos blandos y periostio, común en fracturas expuestas de grado III, según la clasificación de Gustillo-Anderson. Además, se presenta en lesiones provocadas por armas explosivas, comunes en regiones con conflictos bélicos, infecciones que requieren una debridación extensa y tumores que necesitan una resección extensa (Nauth *et al.*, 2018).

2.4. Clasificaciones

Una vez que se detecta un defecto óseo se debe clasificar para tener un mismo lenguaje entre las personas profesionales en Medicina y determinar el manejo. Actualmente, no existe un consenso entre las clasificaciones, sin embargo, existe una clasificación propuesta por el Dr. Kevin D. Tetsworth, con base en las características de la fractura, así como en el tamaño del fragmento que se pierde y se asocia con las fracturas expuestas.










Esta clasificación es una extensión del esquema de la clasificación de las fracturas expuestas de la Asociación de Ortopedia y Trauma y utiliza el mismo sistema alfanumérico que usa la OTA (Orthopaedic Trauma Association) (Tetsworth *et al.*, 2021). En esta clasificación se usa el sufijo D para los defectos óseos. Por otro lado, el número 1 se usa para los defectos óseos incompletos, los cuales presentan una discontinuidad de la cortical. No

obstante, no existe el 100 % de la pérdida y se puede subdividir en A para pérdidas menores del 25 %, B en el caso de que abarque del 25 % al 75 % y C en caso de abarcar más del 75 %.

Ahora bien, en caso de que los defectos abarquen menos de 2 cm, pero el 100 % del diámetro, se utiliza el número 2 y se llamarán defectos óseos subcríticos. Estos mismos se subdividirán según la geometría del defecto, utilizando A para los que poseen ambos fragmentos oblicuos, B para los que presentan un fragmento oblicuo y otro transverso y C para los que muestran los 2 fragmentos de la fractura transversos (Tetsworth *et al.*, 2021).

Por último, se habla de defectos óseos críticos a los defectos que presentan una pérdida del fragmento mayor que 2 cm y se utiliza el número 3. Estos se dividen según el tamaño del defecto, por lo tanto, A se usa para defectos que abarcan de 2 a 4 cm y se llaman moderados, B para los que van de 4 a menos de 8 cm y se llaman mayores y, por último, C para los que son mayores de 8 cm y se llaman defectos óseos críticos masivos (Tetsworth *et al.*, 2021).

Figura 3
Clasificación de los defectos óseos

Defecto Óseo (D) Esquema de clasificación	A	B	C
D1 Incompleto (Discontinuidad de la cortical) Según la extensión	 < 25%	 25% a 75%	 >75%
D2 Subcrítico (< 2 cm) Según la Forma			
D3 Defecto Crítico ≥ 2 cm Según tamaño	 Moderado (2 a <4 cm)	 Mayor (4 a <8 cm)	 Masivo (>8 cm)




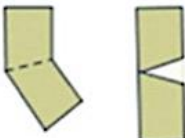
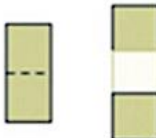
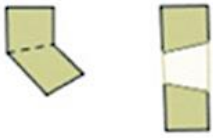



Fuente: Tetsworth *et al.* (2021).

Por otro lado, existe el sistema de clasificación universal de defectos de huesos largos, ULBDC (Universal Long Bone Defect Classification). Este sistema se basa en el mismo código alfanumérico de la clasificación de la AO/OTA, que va desde lo simple hasta lo más complejo (Sheridan *et al.*, 2022).

Con respecto al defecto diafisario, según la ULBDC, los tipos A son aquellos más simples y que preservan la integridad ósea. Estos se pueden subdividir. Los tipos A1 son los que tienen un defecto menor de $\frac{1}{3}$ de la circunferencia y que preservan la integridad ósea. Se tiene la posibilidad de subclasificar de acuerdo con la longitud del defecto, siendo 1 menor de un diámetro óseo, 2, de uno a dos diámetros óseos y 3, mayor que 2 diámetros óseos.

Los A2 son los defectos que se generan después de un tratamiento quirúrgico, con el fin de corregir un acortamiento o una deformidad angular. Estos requieren tratamientos como osteotomías, injertos óseos, transporte o combinación de los mencionados y se subclasifican según la deformidad o acortamiento que se quiera corregir. Además, los tipos A3 son aquellos defectos mayores de $\frac{1}{3}$ de la circunferencia del hueso (ver la Figura 4) y se pueden subdividir según la longitud del defecto, al igual que el tipo 1 (Sheridan *et al.*, 2022).

Figura 4
Defectos diafisarios tipo A










Tipo A – Integridad ósea conservada			
Grupo	Subgrupo		
	1	2	3
1. Verdadero defecto óseo < $\frac{1}{3}$ de la circunferencia ósea.	 Defecto longitudinal < 1 diámetro	 Defecto longitudinal 1-2 diámetros	 Defecto longitudinal > 2 diámetros
2. Defecto óseo (falso) anticipado	 - Deformidad ósea - Una corrección que crea un defecto anticipado	 - Acortamiento óseo - Una corrección que crea un defecto anticipado	 - Deformidad + acortamiento óseo - Una corrección que crea un defecto
3. Verdadero defecto óseo > $\frac{1}{3}$ de la circunferencia ósea.	 Defecto longitudinal < 1 diámetro	 Defecto longitudinal 1-2 diámetros	 Defecto longitudinal > 2 diámetros

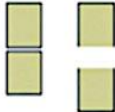








Fuente: Sheridan *et al.* (2022).

Los tipos B son aquellos que interrumpen la integridad del hueso y forman múltiples fragmentos, sin embargo, preservan la longitud debido al contacto entre los fragmentos. Se clasifica según la extensión del contacto óseo, el cual se mide en tercios de la circunferencia y se subclasifica de acuerdo con la longitud del defecto óseo. Por otra parte, las clases C son los defectos segmentarios y se agrupan según el contacto de la fractura; se subdividen según

la longitud del defecto, como en las clasificaciones pasadas (ver la Figura 5) (Sheridan *et al.*, 2022).

Figura 5
Defectos diafisarios tipo B y C









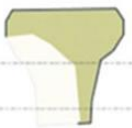
Tipo B- Defecto óseo sin acortamiento			
Grupo	Subgrupo		
	1 Defecto longitudinal <1 diámetro óseo	2 Defecto longitudinal 1-2 diámetros óseos	3 Defecto longitudinal >2 diámetros óseos
1.Contacto óseo > 2/3			
2.Contacto óseo 1/3- 2/3			
3.Contacto óseo <1/3			

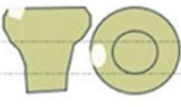
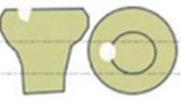







Tipo C- Defecto óseo segmentario			
Grupo	Subgrupo		
	1 Defecto Longitudinal < 1 Diámetro óseo	2 Defecto Longitudinal 1-2 Diámetros óseos	3 Defecto Longitudinal > 2 Diámetros óseos
1.Contacto óseo completo			
2.Contacto óseo limitado			
3.Sin contacto óseo			

Fuente: Sheridan *et al.* (2022).

Por otro lado, existen los defectos óseos periarticulares. Los tipos A son los extraarticulares, los tipos B son aquellos que involucran la superficie articular, pero menos del 50 % al verlos en un TAC axial. Los tipos C son aquellos que involucran más del 50 % de la superficie articular (ver la Figura 6). Por último, los defectos óseos periarticulares tipo D son los que involucran la amputación (Sheridan *et al.*, 2022). Los defectos periarticulares también presentan subdivisiones según el tamaño y la ubicación de la lesión.

Figura 6
Defectos periarticulares

Tipo A- Extraarticular				
Grupo	Subgrupo			Extensión
	1 < 25% en vista axial	2 25%-50% en vista axial	3 >50% en vista axial	
1.Hueso Trabecular extraarticular				E
				M
				D
2.Hueso cortical extraarticular epimetáfisiario				E
				M
				D
3.Hueso cortical extraarticular con extensión diafisaria				E
				M
				D

Tipo B-Defectos extensos intraarticular				
Grupo	Subgrupo			Extensión
	1	2	3	
1.Pequeño (<10%)	 Marginal	 Periférico	 Central	E
				M
				D
2.Medio (10-30%)	 Marginal	 Central Una columna	 Central Ambas columnas	E
				M
				D
3.Grande (30-50%)	 Marginal	 Central Una columna	 Central Una columna	E
				M
				D

Tipo C-Defectos intraarticulares subtotales/totales			
Grupo	1.Subtotal	2.Total, contacto óseo	3.Total, sin contacto
1.Epifisario			
			E
			M
2.Epifisis-Metafisario			
			D
			E
3.Epimeta-diafisario			
			M
			D

Fuente: Sheridan *et al.* (2022).

El tratamiento de las fracturas diafisarias tipo A1 puede ser de manejo conservador, mientras que las A2 dependen de la corrección y las A3 requieren injerto óseo más osteosíntesis. Los defectos tipo B pueden requerir injerto y osteosíntesis con placas o fijadores externos. Los tipos C necesitan procedimientos de reconstrucción (Sheridan *et al.*, 2022).

Los defectos periarticulares tipo A1.1 pueden ser de manejo conservador, sin embargo, los tipos A1.3 son defectos con alto riesgo de colapso, por lo que deben ser rellenados con autoinjerto o cemento (Sheridan *et al.*, 2022).

Por otra parte, los defectos tipo B1 usualmente son de manejo conservador. Los tipos B2, por lo general, son quirúrgicos y requieren la realización de osteocondroplastias artroscópicas y las clases B3 son defectos que necesitan reemplazos articulares (Sheridan *et al.*, 2022).

Finalmente, en los defectos tipo C, la preservación de la articulación no es una alternativa y, por eso, el tratamiento va desde reemplazos articulares, artrodesis y hasta megaprótesis (Sheridan *et al.*, 2022).

2.5. Manejo inicial

En esta revisión se valorará el abordaje de los defectos críticos provocados por los traumas de alta energía. Normalmente, son pacientes que sufren fracturas expuestas de grado III, según la clasificación de Gustillo-Anderson. Por lo tanto, el manejo debe seguir la secuencia que se utiliza en las salas de emergencia en la cual se usa el protocolo del ABCD y, una vez que el paciente se encuentre fuera de peligro con respecto a lesiones mortales, se da la gestión de las fracturas expuestas. Primero, el antibiótico, para continuar con el desbridamiento y lavado quirúrgico en sala de operaciones; después, los desbridamientos subsecuentes y el manejo médico y, por último, la reconstrucción definitiva (Toogood y Miclau, 2017).

Frecuentemente, el escenario típico de los defectos óseos críticos consiste en fragmentos óseos grandes que aún se mantienen en la herida y que no poseen inserciones de tejido blando. Sin embargo, es una decisión difícil determinar si retener el fragmento o removerlo, debido al beneficio o riesgo de una infección. Por consiguiente, el cirujano debe definir el valor de ese fragmento óseo, si es de alto o bajo valor (Toogood y Miclau, 2017).

Se considera de bajo valor aquel fragmento diafisario de moderado tamaño que se encuentra desvascularizado y que puede servir como nido para una infección. Por ende, se decide removerlo, debido a que es más fácil manejar un defecto óseo crítico que una osteomielitis establecida. Por otro lado, los fragmentos de alto valor son aquellos fragmentos osteocondrales o secciones de superficie articular grandes que, si se remueven, limitan las opciones de reconstrucción. En este caso, se prefiere limpiar y retener el fragmento (Toogood y Miclau, 2017).

Posteriormente, se realiza la optimización del paciente. Se debe comprobar la cesación del fumado, en caso de ser fumador activo; el control glicémico adecuado, la optimización nutricional, el manejo de anormalidades metabólicas y endocrinas, evitar el abuso del licor y verificar si el paciente se encuentra sometido a radioterapia, ya que todos los factores mencionados son importantes para una óptima reconstrucción ósea. Esto ya que no solo porque un paciente pueda ser sometido a una reconstrucción, esta deba hacerse, por lo tanto, se debe valorar al paciente de forma integral e informarle que es un proceso largo

que requiere múltiples cirugías y que tiene una alta tasa de complicaciones, a pesar de una optimización adecuada (Mauffrey *et al.*, 2015).

2.6. Manejo de los defectos óseos segmentarios

2.6.1. Injertos óseos

El injerto óseo es el método más común para apoyar la regeneración ósea. Es el segundo tejido más trasplantado, después de las transfusiones sanguíneas y el autoinjerto es el *gold standard*, ya que cumple con tres propiedades biológicas (Wang y Yeung, 2017):

1. Osteoconducción: es la capacidad de permitir la unión de los osteoblastos y las células osteoprogenitoras, así como la migración y el crecimiento de estas células dentro de una estructura tridimensional.
 2. Osteoinducción: es la capacidad de inducir a las células primitivas, indiferenciadas y pluripotenciales, a transformarse en células del linaje óseo.
 3. Osteogénesis: células que derivan de la estructura donadora y tienen la capacidad de osteodiferenciarse y, subsecuentemente, formar hueso.
- Autoinjerto óseo: el sitio que más se utiliza es la cresta ilíaca, debido a que presenta las propiedades biológicas antes descritas. El problema es que posee complicaciones en el sitio donador, como dolor residual, aumento del tiempo quirúrgico, incremento de la pérdida de sangre, potencial infección del sitio donador y un volumen de material disponible limitado (Wang y Yeung, 2017). No obstante, actualmente existe el RIA, por sus siglas en inglés (*reamer-irrigator-aspirator*), que aumenta la capacidad de volumen disponible. El RIA produce un aproximado de 40 ml a partir del fémur (rango, 25-75 ml), en contraste con los 15-20 ml promedio de la cresta ilíaca de tejido óseo (Mauffrey *et al.*, 2015).
 - Aloinjertos óseos: este se refiere a tejido óseo obtenido de un individuo y trasplantado a otro de la misma especie. En este caso, se eliminan los problemas del sitio donador y de la cantidad limitada. Sin embargo, no cumplen con las tres propiedades biológicas debido a los procedimientos de esterilización.

Por otra parte, son más caros y tienen el riesgo de infecciones de origen viral del sitio donador (Mauffrey *et al.*, 2015). La matriz ósea desmineralizada es un aloinjerto óseo altamente procesado, en el cual se retira al menos el 40 % del contenido mineral de la matriz ósea, mientras se conserva colágeno, proteínas no colágenas y factores de crecimiento. Además, se utiliza para rellenar defectos óseos (Wang y Yeung, 2017).

- Sustitutos óseos sintéticos: debido a la falta de injertos naturales, se han creado sustitutos óseos (Wang y Yeung, 2017).
 - Sulfato de calcio: es una cerámica biodegradable y osteoconductiva compuesta por CaSO_4 que se utiliza para rellenar defectos. Sin embargo, posee una reabsorción rápida y poca resistencia, por lo tanto, se usa para rellenar defectos óseos pequeños con fijación interna.
 - Cerámica de fosfato de calcio: constituidas por hidroxiapatitas de calcio, las cuales poseen una composición similar a la fase mineral de la calcificación de los tejidos.
 - Cemento de fosfato de calcio: muy similar a las cerámicas, solo posee propiedades osteoconductoras.
 - Vidrio bioactivo: también conocido como *bioglass*, tiene una fuerte unión física con el hueso.
 - Cemento óseo, polimetilmetacrilato (PMMA): no es biodegradable ni reabsorbible. Se utiliza para la fijación de reemplazos articulares y vertebroplastias percutáneas. La polimerización del PMMA es exotérmica y puede provocar daños a los tejidos blandos.

2.7. Procedimientos reconstructivos

2.7.1. Autoinjerto de peroné vascularizado

Esta técnica se desarrolló a partir de 1970, como una técnica de microcirugía vascular. Normalmente, esta técnica se utiliza para defectos mayores de 10 cm, sin embargo, depende de la longitud de la fíbula del paciente. La fíbula puede ser resecada 4 cm cerca de la cabeza fibular y 6 cm proximal a la articulación tibiofibular distal.

Por otro lado, es necesaria la experiencia de un microcirujano para realizar la anastomosis vascular. Se requieren 2 años para generar una hipertrofia adecuada del peroné y se documentó que aproximadamente el 20 % de los pacientes sufrirá una fractura del autoinjerto el primer año posquirúrgico. Por lo tanto, la carga de peso debe ser restringida durante la fase de hipertrofia. Otra desventaja es la morbilidad del sitio donador (Mauffrey *et al.*, 2015).

2.7.2. Técnica de membrana inducida (Masquelet y Begue, 2010)

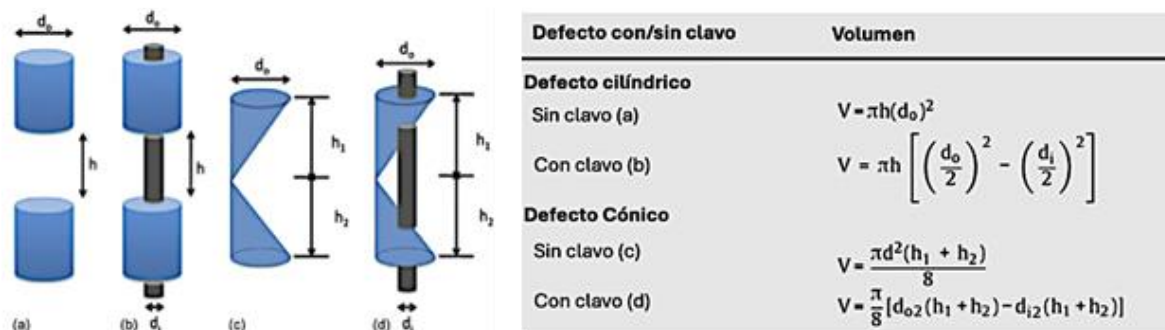
Se documentó que cuando existen defectos óseos mayores de 2 cm, que se tratan con autoinjerto de cresta ilíaca, estos presentan una curación incompleta, debido a la reabsorción del injerto, a pesar de existir un ambiente muscular vascularizado. Por consiguiente, nace el concepto de membrana ósea inducida, la cual evita la reabsorción del hueso esponjoso, además, brinda factores de crecimiento.

Por otra parte, la técnica consiste en dos fases: la primera en la que se realiza un desbridamiento extenso, se reparan los tejidos blandos y se coloca un espaciador de cemento en el defecto óseo. Después de esto, la segunda fase se lleva a cabo de 6 a 8 semanas luego de la inserción del espaciador, el cual se retira y se deja la membrana. Este espacio se rellena con hueso esponjoso y, en caso de ser insuficiente, se puede mezclar con sustitutos óseos en una relación 3/1.

La membrana debe ser suturada, al igual que los tejidos blandos. Este sistema puede estabilizarse mediante un fijador externo, placas o clavos endomedulares (Masquelet y Begue, 2010). Además, con el fin de que se determine la cantidad de injerto necesario para rellenar el defecto óseo, se puede utilizar la siguiente ecuación (Stafford y Norris, 2010):

Figura 7

Cálculo de volumen necesario para los defectos óseos



Fuente: Stafford y Norris (2010).

Como indicaciones para el uso de la técnica de Masquelet, se encuentran defectos de 5-24 cm, sin embargo, se ve limitada la cantidad de injerto disponible. Por otra parte, se ha evidenciado que el periodo de reconstrucción es largo, aproximadamente 9 meses. Además, se documentó la posible reabsorción del tejido óseo en algunos casos y no se permite la carga precoz, por lo tanto, se requiere una inmovilización prolongada (Mauffrey *et al.*, 2015).

Con respecto a las complicaciones observadas al utilizar la técnica de membrana inducida, se pueden dividir en tres orígenes distintos: infección, mecánico y biológico (Mathieu *et al.*, 2020).

Desde el punto de vista infeccioso, se documentó una relación con un desbridamiento inicial insuficiente, un fallo en la reconstrucción de los tejidos blandos o una cobertura antibiótica inapropiada en el momento del trauma. Por otro lado, se encontró que al realizar reintervenciones quirúrgicas y la fijación interna durante el primer tiempo de la técnica Masquelet, se aumenta el riesgo de infecciones recurrentes (Mathieu *et al.*, 2020).

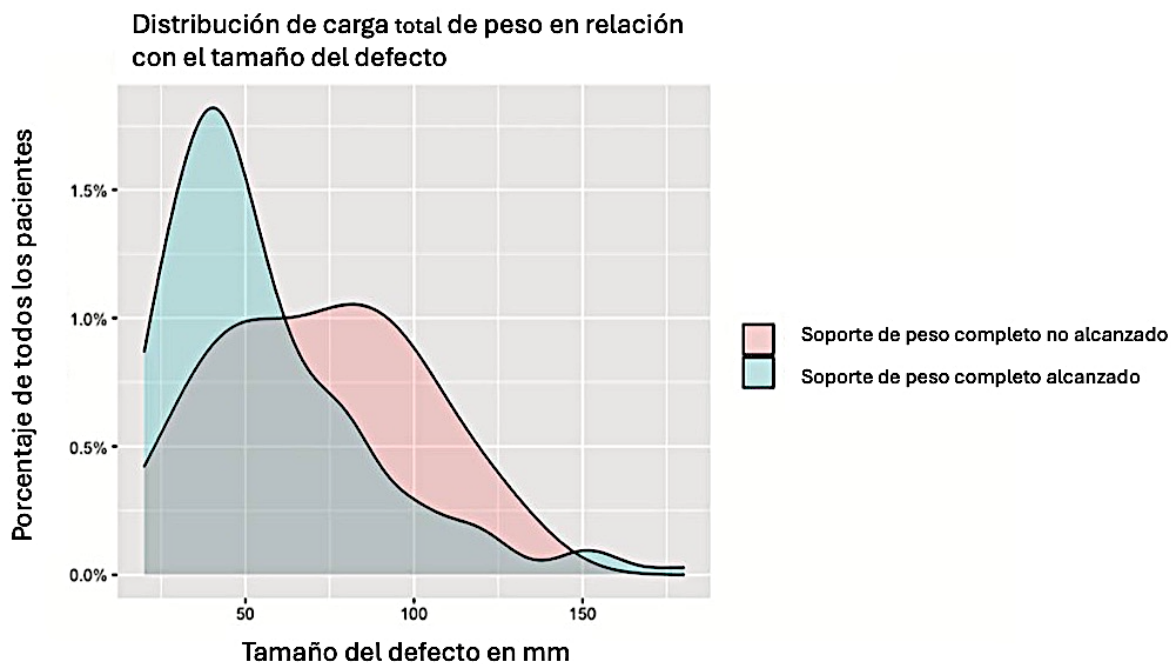
En un metaanálisis reciente, con base en la reconstrucción de la tibia, se reportó un 24.3 % de infecciones posquirúrgicas posteriores a utilizar la técnica de Masquelet y se identificaron dos factores de riesgo: 1: una no unión infectada y 2: defectos óseos de longitud mayores que 7 cm. Esto se debe a que los defectos más grandes se relacionan con un mayor compromiso de los tejidos blandos y esto aumenta el riesgo de infección (Hsu *et al.*, 2020). Por otro lado, en caso de defectos mayores de 7 cm, incluso los fijadores multiplanares no son lo suficientemente estables para lograr una revascularización apropiada del injerto y, por lo tanto, incrementa el riesgo de infección (Mathieu *et al.*, 2020).

Desde el punto de vista mecánico, como se mencionó, los defectos mayores que 7 cm, a pesar de utilizar fijadores multiplanares, son inestables y ponen en peligro la corticalización del injerto, lo que ocasiona deformidades angulares. Por otro lado, el llenado insuficiente de la cavidad puede ser otra causa de fallo mecánico, en el cual, si no hay suficiente injerto óseo, este se dispersa hacia caudal por el efecto de la gravedad y esto provoca una no unión o refractura en el ámbito proximal del constructo (Mathieu *et al.*, 2020).

En un estudio que se llevó a cabo en Alemania desde 2011 hasta 2021, liderado por el Dr. Frese, que consistió en un estudio retrospectivo sobre el uso de la técnica Masquelet, se comparó la capacidad del paciente para lograr una carga de peso completa con respecto a la longitud del defecto óseo. A partir de esto se determinó que, a los 62 mm de longitud, existía un punto crítico donde los resultados tendían a la negatividad en relación con la longitud del defecto (ver la Figura 8) (Frese *et al.*, 2023).

Figura 8

Relación entre la distribución de carga con respecto al tamaño del defecto



Fuente: Frese *et al.* (2023).

Finalmente, desde el punto de vista biológico, el fallo de la membrana se encuentra relacionado con el contenido dentro de ella o el ambiente interno, que puede estar asociado

a tres situaciones. Uno, un uso excesivo de sustitutos óseos dentro del injerto que, a pesar de tener propiedades osteogénicas, se encuentra muy mal vascularizado por la membrana. Dos, utilizar factores de crecimiento óseos morfogenéticos (BMP, Bone Morphogenetic Proteins), que pueden tener un posible efecto de competición con los secretados por la membrana. Tres, pacientes fumadores antes de la cirugía, que reducen el flujo sanguíneo al espacio de la reconstrucción e interfieren con la proliferación celular (Mathieu *et al.*, 2020).

2.7.3. Osteogénesis por distracción

Es un método de alargamiento óseo, el cual también se llama callostasis y el término sugiere que el mecanismo de reparación de una fractura es fundamental para iniciar la formación ósea. Al realizar la distracción de la osteotomía, se provoca que se mantenga este mecanismo por un tiempo indefinido (Hvid *et al.*, 2016).

Está constituido por tres fases. La fase 1 corresponde a la fase de latencia que inicia al realizar una osteotomía de baja energía que puede compararse con una fractura cerrada de baja energía. La fase de latencia posee una duración de 6 a 10 días y es el momento en que inicia una respuesta inflamatoria en la cual se liberan citoquinas (IL-1, IL-6) y esto provoca el reclutamiento, proliferación y diferenciación de células mesenquimatosas y estas producen factores de crecimiento y proteínas morfogénicas óseas (Hvid *et al.*, 2016).

La fase 2 concierne a la fase de distracción; esta corresponde a 1 mm por día, que usualmente se realiza a un ritmo de 0.25 mm, 4 veces al día. Incrementar el ritmo, o sea, aumentar las veces de distracción al día, siempre manteniendo al final del día 1 mm de distracción implica una mejor formación ósea. El límite de alargamiento para obtener buenos resultados con la distracción ósea se relaciona con las complicaciones, como las deformidades angulares, el tiempo prolongado de tratamiento y los problemas con los tejidos blandos.

No existe consenso aún, pero se ha acordado que el máximo de distracción para evitar estas complicaciones es de 7-8 cm en el fémur y de 6-7 cm en la tibia (Hvid *et al.*, 2016). La fase de distracción se lleva a cabo mediante la colocación de fijadores externos en el segmento óseo que se desea distraer.

La fase 3 corresponde a la fase de consolidación, que usualmente posee un tiempo dos veces mayor que la fase de distracción. Al final de la fase de distracción, el hueso regenerado se caracteriza por una zona central no mineralizada, zonas vecinas de tejido mineralizado y zonas periféricas de hueso maduro que ya se encuentran influenciadas por la remodelación. Durante esta fase, los factores de crecimiento disminuyen y la remodelación aumenta (Hvid *et al.*, 2016).

Existen dos formas de realizar la osteogénesis por distracción (Sanzana *et al.*, 2017):

2.7.4. Transporte óseo

Se coloca inicialmente un fijador externo monolateral o circular a nivel del hueso que se desea transportar, manteniendo el alineamiento óseo normal. Después, se realiza una corticotomía metafisaria y se da un tiempo de latencia para formar el callo blando (aprox. 10-15 días). Luego, se lleva a cabo la fase de transporte que consiste en avanzar 1 mm/día, hasta llegar a la zona de acoplamiento en el otro extremo óseo (*docking site*). Por último, se debe esperar un aproximado de dos veces el tiempo del transporte para lograr la consolidación (Mauffrey *et al.*, 2015). En ocasiones, a nivel del *docking site*, es necesario prepararlo para conseguir la consolidación adecuada de los muñones óseos.

Por otro lado, los transportes óseos de gran tamaño pueden realizarse con ayuda de otros materiales de osteosíntesis sumados al fijador externo, que sirven como guías. Se puede realizar, tanto con un clavo endomedular como con una placa de osteosíntesis. Además, se evidenció que el uso de fijadores externos en combinación con clavos endomedulares para llevar a cabo transportes óseos obtuvo la mayor tasa de éxito y funcionalidad después de la realización del procedimiento quirúrgico (Kadhim *et al.*, 2017).

Las ventajas del transporte óseo consisten en que disminuye el riesgo de lesionar tejidos blandos adyacentes, la extremidad puede soportar cargas durante la reconstrucción y una de las más importantes es que no existen límites con respecto a la longitud para reconstruir los defectos (Mauffrey *et al.*, 2015).

Sin embargo, la mayor desventaja es que se necesita mucho tiempo para la reconstrucción, aproximadamente 30 días por cada centímetro que se desea distraer y esto resulta muy demandante, tanto física como psicológicamente para el paciente (Mauffrey *et*

al., 2015). Otras desventajas de mantener un fijador externo por un tiempo prolongado son el aumento del riesgo de la enfermedad del pin, el incremento de la refractura del hueso regenerado y el alto potencial de deformidad una vez que el sistema de fijación se remueve.

En una revisión sistemática sobre el manejo de defectos óseos segmentarios mediante la osteogénesis por distracción, Papakostidis *et al.* (2013) reportaron que en defectos mayores de 8 cm, aumenta el riesgo de refractura del hueso regenerado. Además, documentaron un 2.2 % de complicaciones neurovasculares y un 2.9 % de amputaciones. La mitad de las amputaciones fueron electivas y causadas por el agotamiento, tanto físico como psicológico del paciente.

2.7.5. Acortamiento agudo y alargamiento

Con base en el mismo principio, se realiza un acortamiento para aproximar los 2 fragmentos óseos y con esto se soluciona el defecto óseo de la forma más fácil y rápida. Durante el acortamiento, las estructuras neurovasculares pueden adoptar trayectos tortuosos que provocan la pérdida de la perfusión sanguínea. Por lo tanto, se aconseja un máximo de acortamiento de 3-4 cm en la tibia y 4-6 cm en el fémur, para realizar posteriormente la distracción.

Capítulo III. Propuesta de técnica quirúrgica para defectos óseos masivos de miembros inferiores

Debido a lo mencionado, con respecto a los procedimientos quirúrgicos propuestos en la literatura para la reconstrucción de los defectos óseos diafisarios críticos masivos que se utilizan como herramientas para resolver esta patología quirúrgica compleja, se han documentado las ventajas y desventajas de cada procedimiento. Con base en esto, el Dr. Raúl Mora Rojas, ortopedista y traumatólogo de la CCSS, implementa una nueva técnica quirúrgica, siguiendo los mismos principios de osteosíntesis, biológicos y biomecánicos de los procesos reconstructivos. Sin embargo, combina las dos técnicas de reconstrucción que más se emplean. Estas son el Masquelet y el transporte óseo, con el objetivo de lograr mejores resultados en el menor tiempo posible.

3.1. Descripción de la técnica quirúrgica

Una vez que se define que el paciente presenta un defecto óseo crítico masivo (pérdida ósea de más de 8 cm), se procede con el planeamiento quirúrgico, el cual consiste en definir el sitio para la colocación de los pernos del fijador externo en el segmento distal y proximal que servirán como postes. Además, de precisar el fragmento que se desea transportar y la colocación de los pernos en dicho fragmento. Por otro lado, en este momento, se define si se desea utilizar un material de osteosíntesis como ayuda de guía para el transporte.

Posterior al planeamiento quirúrgico, se lleva al paciente a la sala de operaciones. En este momento, se coloca el material de osteosíntesis que desea el cirujano para ser la guía del procedimiento reconstructivo, ya sea un clavo endomedular o una placa de osteosíntesis. Seguidamente, se realiza el primer tiempo de la técnica de membrana inducida, colocando un espaciador de cemento PMMA. Dicho espaciador debe abarcar 1 cm del borde de cada segmento. Por último, en este primer tiempo quirúrgico, se deben colocar los pernos del fijador externo en la posición deseada.

Figura 9

Planeamiento quirúrgico de un defecto óseo crítico masivo

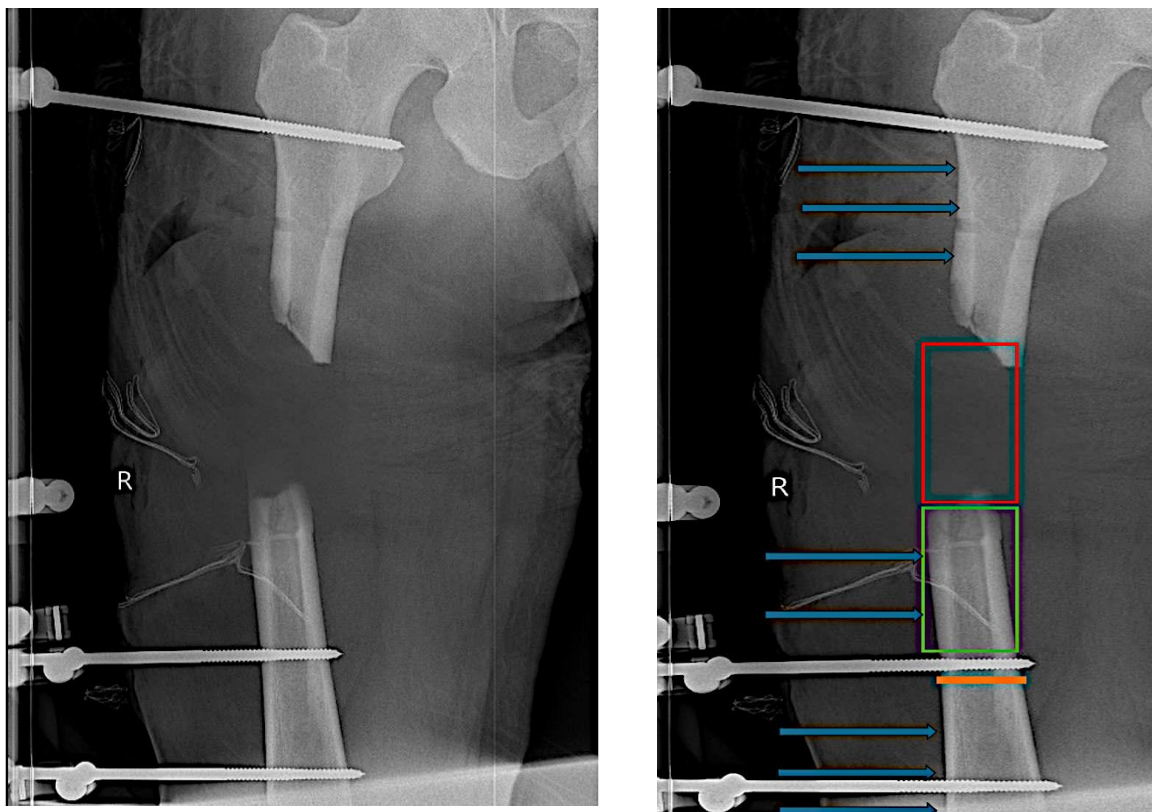


Figura 10
Primer tiempo quirúrgico



Una vez que pasan las 6 semanas de la maduración de la membrana, el paciente se lleva nuevamente a sala de operaciones para realizar el segundo tiempo de Masquelet, el cual consiste en retirar el espaciador de cemento y rellenar el espacio que existe en la membrana inducida con injerto autógeno. En el caso de utilizar equipo de rimado a nivel de fémur o tibia para la extracción de injerto, este se debe proteger con clavos endomedulares en este mismo acto quirúrgico. Una vez que se completa el cierre del sitio del Masquelet, se realiza la osteotomía para el inicio del transporte en el sitio planeado.

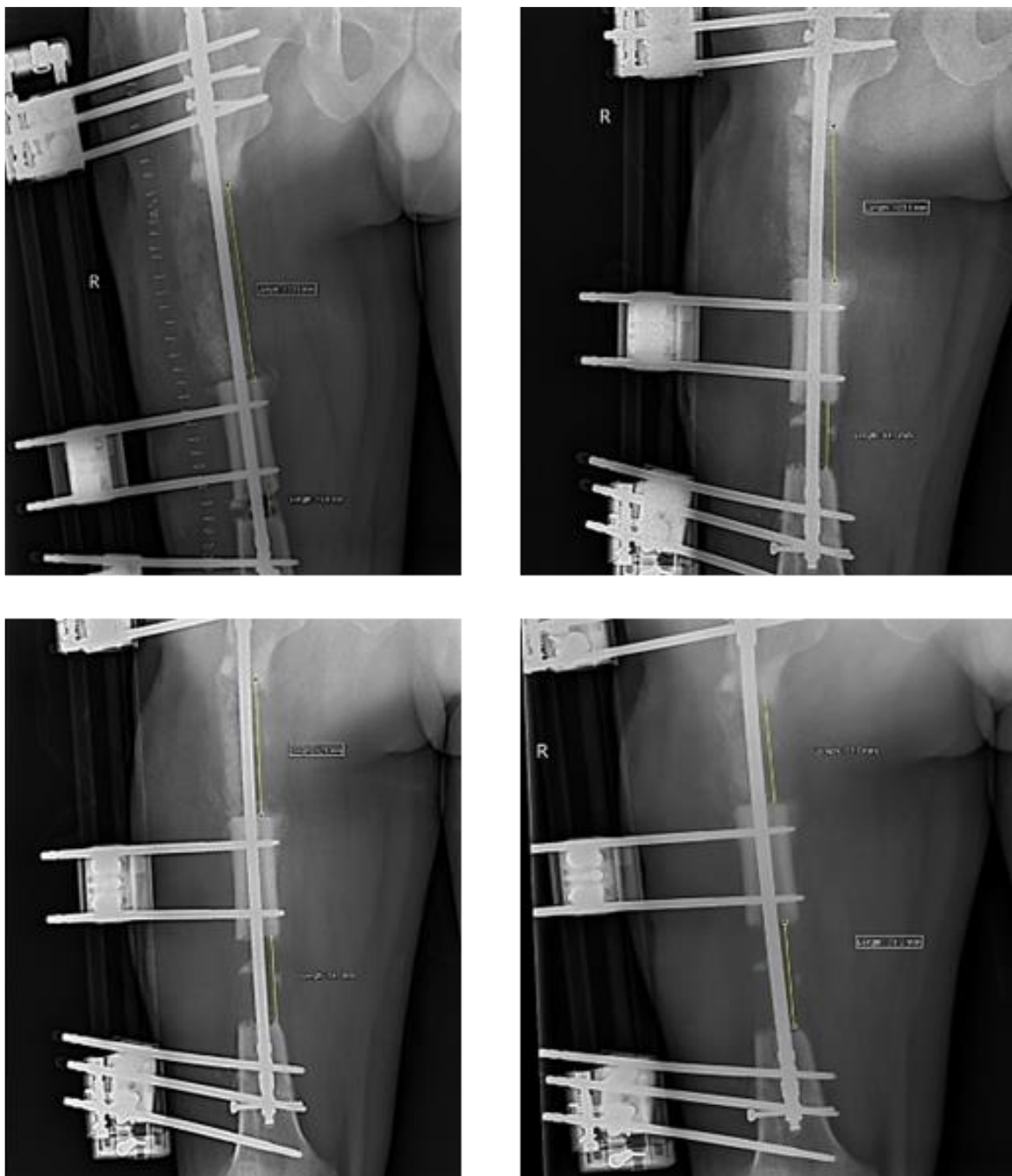
Figura 11
Segundo tiempo quirúrgico



Una vez que pasan los 15 días de latencia, se puede iniciar el transporte a un ritmo de un milímetro por día hasta alcanzar la distancia deseada. Se recomienda que durante esta fase se haga un seguimiento mes a mes del paciente para vigilar el cumplimiento de las indicaciones y valorar con radiografías la evolución adecuada.

Figura 12

Evolución del transporte óseo más Masquelet a un ritmo de 1 mm/día



Por último, en el momento en el que el transporte llega a la distancia deseada, se procede a detener la distracción y se inicia la tercera fase, la cual consiste en la mineralización y remodelación del nuevo hueso formado. Esta fase se prolonga aproximadamente 2 veces el tiempo del transporte, que es el instante en que se observa la corticalización de mínimo 3

de las corticales del callo óseo del transporte y coincide con el tiempo de maduración de la técnica de la membrana inducida. Una vez que se observan las 3 corticales, se procede a retirar el fijador externo.

Figura 13

Resultado final de la nueva técnica quirúrgica



3.2. Análisis de la técnica

Con respecto a esta nueva técnica, esta se ha utilizado en un grupo pequeño de pacientes que presentan defectos óseos masivos, los cuales son patologías de manejo complejo. Primero, por la cantidad de material óseo que se desea restablecer y, segundo, por la gran tasa de infecciones asociadas, debido a que este tipo de lesiones, en su mayoría, se relaciona con fracturas expuestas.

Con esta técnica se ha evidenciado la disminución del requerimiento de injerto óseo para rellenar la membrana en la técnica de Masquelet, debido a que el sitio del defecto sufre un efecto de compresión por el transporte, de manera que se comprime 1 mm por día, por consiguiente, el tamaño del defecto se reduce considerablemente. Además, si se coloca un clavo intramedular, el requisito de injerto disminuye.

Por otro lado, al ser defectos óseos mayores de 8 cm, estos son espacios muertos muy grandes, los cuales son susceptibles a sufrir una infección. Por ende, al realizar una

debridación inicial agresiva y colocar un espaciador de cemento, se reduce el riesgo de contraer una infección.

Además, debido a que en el sitio donde se encuentra el injerto de la técnica de la membrana inducida corresponde al sitio del *docking site*, se evitan problemas frecuentes que ocurren en el momento en el que el transporte llega a este sitio, como la no unión. Por lo tanto, se elimina la necesidad de otro procedimiento quirúrgico.

Asimismo, el tiempo del procedimiento de reconstrucción mediante el método de distracción se reduce, debido a que el fragmento que se transporta no requiere avanzar la totalidad del defecto óseo.

Capítulo IV. Discusión y conclusiones

El concepto de los defectos óseos es un término confuso, debido a que no existe una definición como tal con respecto a una longitud o una cantidad de material óseo faltante en la lesión para determinarlo. Además, varía según las cualidades del paciente y, por ende, el cirujano debe conocer los principios básicos e individualizar cada caso. Si se tienen lesiones irregulares, se pueden utilizar herramientas como el RABG para definir el defecto óseo.

Por otro lado, ya sea para defectos óseos pequeños o críticos masivos, se requieren procedimientos reconstructivos, los cuales son múltiples y están a la mano del cirujano. No obstante, este debe tener la experiencia con el procedimiento que desea realizar y el paciente debe estar informado de todas las complicaciones a las que puede estar expuesto.

Con respecto al manejo de los defectos óseos críticos masivos, que según la clasificación de Tetsworth son aquellos con pérdidas óseas mayores que 8 cm de longitud, se utiliza en mayor parte la técnica de la membrana inducida y el transporte óseo. Sin embargo, se documentó que, después de los 6 cm de longitud, aumentan las complicaciones.

Por lo anterior, al utilizar la nueva técnica quirúrgica propuesta en esta revisión en defectos óseos críticos masivos, se disminuye el tiempo del procedimiento reconstructivo, se evitan problemas que se relacionan con el *docking site*, así como inconvenientes con la cantidad de injerto disponible para la técnica de la membrana inducida. Por consiguiente, la idea de presentar esta nueva técnica es brindar otra herramienta al cirujano y al paciente para solucionar de manera efectiva y con menores complicaciones esta patología compleja.

Por lo tanto, se concluye:

1. Los defectos óseos se definen como pérdida de material óseo que no se recupera de manera espontánea y que puede variar entre cada paciente según las condiciones de este.
2. La etiología más frecuente son las fracturas expuestas tipo III, según la clasificación de Gustillo-Anderson, por traumatismos de alta energía, seguidas por complicaciones infecciosas.

3. La clasificación de Tetsworth para los defectos óseos diafisarios es fácil de reproducir y se puede utilizar el código alfanumérico como una regla universal.
4. Las técnicas de reconstrucción que más se utilizan hoy en día son: la técnica de la membrana inducida y la técnica del transporte óseo.
5. Conforme aumenta la longitud del defecto óseo, aumentan las complicaciones asociadas.
6. La técnica quirúrgica propuesta respeta los principios de reconstrucción y brinda una alternativa para el tratamiento de esta patología.
7. La nueva técnica quirúrgica propuesta puede disminuir los tiempos de los procedimientos reconstructivos, así como las complicaciones asociadas. Sin embargo, se requiere una población más grande y un mayor seguimiento para determinar los resultados.

Referencias

- Frese, J. (2023). Treatment outcome of the Masquelet technique in 195 infected bone defects-a single-center, retrospective case series. *Injury*, 54(10), 110923.
- Haines, N. M.; Lack, W. D.; Seymour, R. B. y Bosse, M. J. (2016). Defining the lower limit of a critical bone defect in open diaphyseal tibial fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 30(5).
- Hsu, C. A.; Chen, S. H.; Chan, S. Y. y Yu, Y. H. (2020). The induced membrane technique for the management of segmental tibial defect or nonunion: a systematic review and meta-analysis. *BioMed Research International*, 2020, 1-10.
- Hvid, I. (2016). *The biology of bone lengthening*, *Journal of Children's Orthopaedics*, 10(6), 487-492. doi:10.1007/s11832-016-0780-2.
- Kadhim, M.; Holmes, L.; Gesheff, M. G. y Conway, J. D. (2017). Treatment options for nonunion with segmental bone defects. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 31(2), 111-119.
- Masquelet, A. C. y Begue, T. (2010). The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. *Orthopedic Clinics of North America*, 41(1), 27-37.
- Mathieu, L. (2020). Induced membrane technique: A critical literature analysis and proposal for a failure classification scheme. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 47(5), 1373-1380. doi:10.1007/s00068-020-01540-9.
- Mauffrey, C.; Barlow, B. T. y Smith, W. (2015). Management of segmental bone defects. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 23(3), 143-153.
- Mizoguchi, T. y Ono, N. (2021). The diverse origin of bone-forming osteoblasts. *Journal of Bone and Mineral Research*, 36(8), 1432-1447.
- Nauth, A.; Schemitsch, E.; Norris, B.; Nollin, Z. y Watson, J. T. (2018). Critical-size bone defects: Is there a consensus for diagnosis and treatment? *Journal of Orthopaedic Trauma*, 32(3).

- Obremskey, W.; Molina, C.; Collinge, C.; Tornetta, P.; Sagi, C.; Schmidt, A.; Probe, R.; Ahn, J. y Nana, A. (2014). Current practice in the management of open fractures among orthopaedic trauma surgeons. Part, B. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 28(8), e203-e207.
- Papakostidis, C.; Bhandari, M. y Giannoudis, P. V. (2013). Distraction osteogenesis in the treatment of long bone defects of the lower limbs: Effectiveness, complications and clinical results. A systematic review and meta-analysis. *Bone Joint, J.*, 95-B(12), 1673-1680.
- Sanzana, E. S.; Montoya, F. C.; López-Cárcel, G. y Koryzma, B. A. (2017). Osteogénesis por distracción en pseudoartrosis infectada de fémur. Caso clínico. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, 82(4), 306-311.
- Seeman, E. (2008). Modeling and remodeling. En J. P. Bilezikian, L. G. Raisz, T. J. Martin (Eds.), *Principles of Bone Biology* (pp. 3e28). Academic Press.
- Sheridan, G.; Solomin, L.; Komarov, A.; Semenistyy, A. y Rozbruch, S. (2022). Universal long bone defect classification. *Journal of Limb Lengthening & Reconstruction*, 8(1), 54.
- Stafford, P. R. y Norris, B. L. (2010). Reamer-irrigator-aspirator bone graft and Bi masquelet technique for segmental bone defect nonunions: A review of 25 cases. *Injury*, 41.
- Tetsworth, K. D.; Burnand, H. G.; Hohmann, E. y 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.
- Toogood, P. y Miclau, T. (2017). Critical-sized bone defects: Sequence and planning. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 31(5).
- Wang, W. y Yeung, K. W. K. (2017). Bone grafts and biomaterials substitutes for bone defect repair: A review. *Bioactive Materials*, 2(4), 224-247.