

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

DEFORMIDAD ARTIFICIAL EN PATOLOGÍAS DE COMPROMISO ÓSEO
ASOCIADO A DEFECTOS CUTÁNEOS SEVEROS CON ÉNFASIS
EN FRACTURAS EXPUESTAS

Trabajo Final de Graduación sometido a la consideración del Comité del Programa de Estudios de Posgrado de la Especialidad de Ortopedia y Traumatología para optar por el grado de Especialista en Ortopedia y Traumatología

Sustentante: Dra. Kristel Alvarado Vargas

Tutor: Dr. Raúl Mora

San José, Costa Rica

2023

Agradecimiento

Al finalizar esta etapa y con la necesidad de presentar el trabajo final de graduación, deseo agradecer primero a Dios, por permitirme la oportunidad de cumplir un sueño que desarrollé en el transcurso de la carrera de Medicina.

De segundo a mi familia, mis padres y hermanos, quienes durante estos años han luchado conmigo en el camino, dándome su apoyo y comprensión en los muchos momentos que no pude compartir con ellos; desde actividades familiares, festividades y demás, todo esto por la responsabilidad que abarcaba la residencia.

A mis compañeros de residencia, de todas las generaciones, con quienes he llegado a formar una segunda familia, momentos memorables desde los inicios, y a quienes les tengo demasiado cariño.

A mis amigos más cercanos, a quienes conocí durante la carrera de Medicina, y a los cuales les debo mil palabras de agradecimiento por siempre estar apoyándome.

Y, por último, agradezco a los tutores que en el camino me iluminaron con sus enseñanzas, comprensión, paciencia e incluso regaños; y quienes compartieron sus conocimientos para ayudarme a ser mejor estudiante; en especial, al Dr. Raúl Mora, quien, además, es mi tutor de tesis, y me ha permitido adquirir un gusto adicional por la cirugía reconstructiva y ortopédica, de la cual espero poder algún día tener un estudio de subespecialidad que podamos compartir en el futuro.

Dedicatoria

Este trabajo final de graduación, que representa la finalización de una etapa muy bonita y que ha traído muchos retos en mi vida, se lo quiero dedicar a mis dos padres. Quienes han sido un pilar para brindarme la fuerza suficiente, la motivación y el apoyo incondicional desde los momentos más felices hasta los difíciles; sin ellos no lo hubiera logrado.

Con todo el amor que se puede expresar en palabras, a mi madre Kattia Vargas Redondo y a mi padre Manuel Alvarado Montero; gracias por ser unos padres excepcionales en este camino que estoy finalizando.

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 para optar al grado y título de Especialista en Ortopedia y Traumatología



Dr. Raúl Mora

Médico especialista en Ortopedia y Traumatología


Tutor



Dr. Esteban Zamora Estrada

Médico especialista en Ortopedia y Traumatología

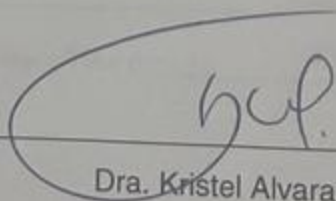
Lector



Dr. Esteban Zamora Estrada

Médico especialista en Ortopedia y Traumatología

Jefe de Posgrado de Ortopedia y Traumatología



Dra. Kristel Alvarado Vargas

Sustentante



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

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, Kristel Alvarado Vargas, con cédula de identidad 702080809, en mi condición de autor del TFG titulado Deformidad artificial en patologías de Compromiso óseo asociado a defectos cutáneos severos; énfasis en fracturas expuestas

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: Kristel Alvarado Vargas

Número de Carné: B89752 Número de cédula: 702080809

Correo Electrónico: Kris2011.KAV@gmail.com

Fecha: 17/4/2023 Número de teléfono: _____

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Dr. Raúl Mora


FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su 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 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya 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 revisión filológica

San José, 12 de abril de 2023

Señores(as):

Programa de Posgrado en Especialidades Médicas
Universidad de Costa Rica

Estimados señores(as):

Yo, María Fernanda Sanabria Coto, cédula de identidad 114290780, bachiller en Filología española graduada en la Universidad de Costa Rica, perteneciente a la Asociación Costarricense de Filólogos (ACFIL), carné 225 y al Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Artes de Costa Rica (COLYPRO), código 75402, hago constar que he revisado el documento titulado:

**DEFORMIDAD ARTIFICIAL EN PATOLOGÍAS DE COMPROMISO ÓSEO
ASOCIADO A DEFECTOS CUTÁNEOS SEVEROS CON ÉNFASIS EN
FRACTURAS EXPUESTAS**

Dicho documento fue elaborado por Kristel Alvarado Vargas, cédula de identidad 702080809, con el fin de optar al grado de Especialista en Ortopedia y Traumatología. He revisado y corregido aspectos tales como construcción de párrafos, vicios del lenguaje trasladados a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico.

Atentamente,

Fernanda S. Coto.



María Fernanda Sanabria Coto
Asociación Costarricense de Filólogos. Carné nro. 225
Colypro. Código 75402
fernanda.sanabria@filologos.cr
Teléfono: +506 6022 9569

MARIA
FERNANDA
SANABRIA
COTO (FIRMA)

Firmado digitalmente
por MARIA
FERNANDA
SANABRIA COTO
(FIRMA)
Fecha: 2023.04.12
23:08:19 -06'00'

Índice

Capítulo I. Aspectos introductorios	1
1.1. Metodología	1
1.2. Objetivo general	2
1.3. Objetivos específicos	2
Capítulo II. Marco teórico	3
2.1. Osteogénesis por distracción	3
2.2. Mecanobiología de la consolidación durante los procesos de distracción	6
2.3. Proceso de cicatrización de heridas	8
2.4. Influencia mecánica del tejido blando en procesos de regeneración ósea	10
2.5. Fisiología de la distracción del tejido blando	11
2.6. Conceptualización de fracturas expuestas	12
2.7. Manejo quirúrgico habitual: acortamiento, colgajo o transporte óseo	20
2.8. Una deformidad artificial como opción quirúrgica	23
2.9. Acortamiento con o sin angulación	24
2.10. Opción de acortamiento agudo más creación de una deformidad intensional para cerrar defectos en tejidos blandos	26
2.11. Caso descrito	32
2.12. Eficiencia de la deformidad temporal en tres pacientes	36
2.13. Comparación del fijador externo circular y el hexápodo durante la corrección	38
2.14. Otras alternativas terapéuticas asociadas a defectos cutáneos	39
Capítulo III. Conclusiones	43
Bibliografía	44

Índice de figuras

Figura 1. Ilustración esquemática de dos procesos principales que ocurren durante la cicatrización de heridas.....	9
Figura 2. Condiciones perioperatorias que comparan un grupo de manejo quirúrgico temprano versus uno de manejo tardío.....	17
Figura 3. Clasificación de MESS	19
Figura 4. Ilustración que demuestra la consolidación durante el proceso de transporte óseo abierto	23
Figura 5. Acortamiento agudo e intencional de una fractura expuesta de tibia puede simplificar la reconstrucción en lesiones tipo IIIBC/C.....	26
Figura 6. Radiografía de resección y deformidad manual	28
Figura 7. Cierre primario de herida posterior a la aplicación de un fijador externo tipo Taylor Spatial Frame, posterior a la resección de hueso y de crear una deformidad	29
Figura 8. Apariencia de la evolución de la cicatrización de la herida en 3 semanas. ...	30
Figura 9. Apariencia final de la extremidad y apariencia final de la radiografía	31
Figura 10. Tomografía preoperatoria, fotografía prequirúrgica, imagen clínica preoperatoria y fotografía postquirúrgica.....	33
Figura 11. Fotografía que demuestra el cierre de la herida, rayos x que demuestra el daño de la pierna y fotografía que presenta el defecto residual.....	34
Figura 12. Imagen precorrección y de la corrección de la deformidad	35
Figura 13. Rayos X donde se observa el eje anatómico posterior y presentación anatómica con el resultado final.....	36
Figura 14. Esquema de deformidad intencional y acortamiento.....	37
Figura 15. Progreso radiográfico	37
Figura 16. Imágenes para demostrar técnica de encarcelación de tejido blando (SICT)	41
Figura 17. Imágenes para demostrar la técnica de submarino (SMT).....	42

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de Gustilo-Anderson	13
Tabla 2. Clasificación de Oestern y Tscherny de fracturas expuestas	13

Resumen

La cirugía de reconstrucción en ortopedia y la ortoplástica, que incluye el manejo de deformidades adquiridas, congénitas, secundarias a trauma, no uniones y procesos infecciosos, ha ido avanzando en las últimas dos décadas, dando énfasis en las fracturas expuestas y los defectos postraumáticos asociados a lesiones en tejidos blandos, lo que sigue considerándose un gran problema terapéutico. Además, cuenta con tasas descritas de pérdidas óseas de hasta 11,4 %, donde la tibia es el hueso afectado hasta en dos tercios de los casos.

Así mismo, en la historia, la amputación en estos casos era el tratamiento que se ofrecía, debido a las lesiones tan extensas que llegaban a presentar. Por el contrario, actualmente, se ofrecen diferentes procedimientos de reconstrucción o salvamento, que están basados en el método de osteogénesis por distracción descrito por primera vez por Ilizarov y, posteriormente, popularizado por cirujanos del oeste; el cual ha llegado a revolucionar el manejo de estas lesiones. Pero que representan procedimientos quirúrgicos, con periodos de tratamiento largos y estresantes para el paciente, con altas tasas de no uniones y de infecciones.

A partir de lo anterior, este estudio se propone ahondar en los conocimientos respecto al manejo quirúrgico de fracturas expuestas, con compromiso severo de tejido blando, desde una perspectiva de reconstrucción y salvamento, con la finalidad de brindar como opción quirúrgica, el mantener una deformidad ósea o provocarla, para mejorar el estado de los tejidos de cobertura de la zona afectada.

Abstract

Reconstructive surgery in orthopedics and orthoplastic, which includes the management of acquired and congenital deformities, secondary to trauma, nonunions, and infectious processes, has progressed in the last two decades. Giving emphasis on open fractures and post-traumatic defects associated with soft tissue injuries continues to be considered a major therapeutic problem. With described rates of bone loss of up to 11,4%, and where the tibia is the affected bone in up to two thirds of cases. In history, amputation in these cases was the treatment that was offered, due to the extensive lesions that these lesions would present. Currently, different reconstruction or salvage methods are offered, which are based on the distraction osteogenesis method first described by Ilizarov, and later popularized by western surgeons, and which has come to revolutionize the management of these injuries. But they represent surgical procedures, with long and stressful treatment periods for the patient, with high rates of non-unions and infections.

Capítulo I. Aspectos introductorios

Las fracturas expuestas, como son ampliamente conocidas, se pueden asociar a un daño importante a nivel de los tejidos blandos e incluso lesiones vasculares. Esto, sumado a los diferentes grados de compromiso óseo, sigue siendo un campo con múltiples opciones de manejo, en los cuales no existe una guía específica.

Al momento de valorar la cirugía definitiva para brindar la estabilidad necesaria a la fractura y buscar la alineación de esta, el tratamiento puede realizarse por diferentes dispositivos, como lo son clavos intramedulares, placas o tornillos; los cuales se pueden colocar, siempre y cuando, se tenga una adecuada cobertura a nivel del tejido blando.

Sin embargo, las fracturas que presentan un daño importante del tejido blando normalmente no cumplen con el criterio para ofrecer el tratamiento definitivo, por lo que, en esos casos, se deben ofrecer opciones de cobertura a nivel del defecto, una vez finalizada una correcta debridación inicial. Esto con el fin de garantizar un adecuado ambiente para la colocación de implantes en otros tiempos quirúrgicos.

A partir de lo anterior, este estudio busca exponer la opción ya documentada, pero poco utilizada, de generar una deformidad a nivel de la extremidad, en el foco de la fractura; esto con la finalidad de favorecer la adecuada evolución del tejido blando, sumado a la colocación de fijadores externos que, posteriormente, permiten la corrección gradual de la deformidad adquirida.

1.1. Metodología

Dado que el objetivo del estudio es analizar la aplicación de una deformidad temporal en una extremidad que haya sufrido una fractura expuesta con compromiso de tejido blando importante, así como ejemplos de diferentes técnicas, recomendaciones de aplicación y complicaciones, se recurrió a un estudio observacional descriptivo. Por lo que se ha realizado una revisión sistemática en bases de datos bibliográficas como PubMed, Medline y manualmente a través de internet en revistas. Además, se definieron criterios de inclusión y exclusión, así como un conjunto de variables para analizar las

características de los artículos seleccionados, por ejemplo, que estos abarcaran un período a partir del 2017 hasta el primer trimestre de 2023.

1.2. Objetivo general

Ampliar conocimientos respecto al manejo quirúrgico de fracturas expuestas, con compromiso severo de tejido blando, desde una perspectiva de reconstrucción y salvamento, con la finalidad de brindar como opción quirúrgica, el mantener una deformidad ósea o provocarla, para mejorar el estado de los tejidos de cobertura de la zona afectada.

1.3. Objetivos específicos

1. Brindar conceptos actuales de manejo de fracturas expuestas con compromiso importante de tejidos blandos.
2. Proporcionar recomendaciones del manejo inicial del tejido blando en una fractura expuesta, así como su importancia en la evolución del paciente.
3. Establecer posibles opciones quirúrgicas para el manejo de defectos óseos con compromiso del tejido blando.
4. Instaurar como opción quirúrgica una deformidad ósea artificial, con el fin de proteger los tejidos blandos del paciente.

Capítulo II. Marco teórico

El estudio y manejo de fracturas expuestas, asociadas a defectos cutáneos, han sido ampliamente abarcados desde hace años, donde se han recomendado múltiples opciones terapéuticas. No obstante, se busca brindar información relacionada con generar una deformidad iatrogénica temporal a nivel del foco de fractura, con el fin de mejorar la condición de la piel, y posterior corrección de la deformidad, por lo que es importante definir algunos conceptos claves en el tema de estudio. Entre los cuales, se encuentra: “fracturas expuestas”, “defectos cutáneos” y “deformidad adquirida”.

2.1. Osteogénesis por distracción

La osteogénesis por distracción es una ingeniería endógena del hueso con una capacidad para regenerar, así como favorecer la reconstrucción y el alargamiento del tejido óseo (Yang et al., 2022). Dicho procedimiento requerirá ejecutar una osteotomía en el hueso, para que, posterior a un periodo de latencia, un aparato distractor se utilice con el objetivo de generar una tensión en los extremos a una velocidad y frecuencia apropiada, con el fin de que exista una regeneración de hueso en forma natural a nivel del espacio que se está distrayendo. Posteriormente, se completa el proceso con la mineralización y el remodelado (Yang et al., 2022).

Es un método descrito en forma inicial desde los años 1950 a 1990, por el cirujano ruso, el Dr. Gavril Ilizarov, cuya aplicación se fue extendiendo y aplicando en el mundo de múltiples cirugías, para ayudar a mantener el eje de las extremidades; también en cirugías craneofaciales, en el servicio de cirugía plástica para el tratamiento de patologías congénitas o deformidades adquiridas, secundarios a tumores, trauma e incluso para el tratamiento de displasias (Yang et al., 2022). Este requiere de un microambiente inmune adecuado, con mecanismos idóneos de regulación, para que haya una adecuada evolución durante la osteogénesis por distracción (Yang et al., 2022).

Durante el período de latencia, es una fase considerada similar a lo que ocurre en el proceso de consolidación de una fractura. Una vez realizada la osteotomía, se forma

un hematoma, con una respuesta inflamatoria, con la llegada y la infiltración de diferentes células inmunes, incluidas citocinas proinflamatorias, como la interleucina -1 y la interleucina -6, las cuales son liberadas en grandes cantidades a nivel del sitio de la osteotomía, y favorecen un adecuado ambiente para la angiogénesis y osteogénesis, promoviendo la migración, proliferación y diferenciación de las células mesenquimales (Yang et al., 2022).

Si bien es cierto, la fase de latencia es similar al proceso de consolidación en una fractura, presenta una diferencia marcada importante y es que, en el momento de la liberación de las interleucinas 1 y 6 en este último, se van a ver acompañadas por la expresión del factor de necrosis tumoral α (TNF- α), siendo liberado en casos de trauma. Lo que explica la razón de no estar presente durante el proceso de la osteogénesis por distracción, ya que una osteotomía no es una causa de trauma severo que favorezca su liberación. Así mismo, el periodo de latencia es considerado importante, ya que es necesario para una regeneración exitosa (Yang et al., 2022).

Posteriormente, se da la formación de un callo blando. Fase en la que participan diferentes factores como el factor de crecimiento β (TGF- β), la proteína de hueso morfogenética (BMP), el factor de crecimiento de insulina y el factor vascular de crecimiento endotelial. Momento cuando se da por finalizada la etapa inflamatoria y el proceso de regeneración preliminar a nivel de la osteotomía (Yang et al., 2022).

Durante el proceso de distracción, se coloca un dispositivo distractor a nivel del sitio de la osteotomía, para generar una tensión a nivel de los extremos de esta; punto donde el callo cartilaginoso formado durante la fase de latencia será absorbido e inicia el proceso de neovascularización en una proporción importante desde el centro del defecto (Yang et al., 2022).

Múltiples células multipotenciales infiltran, proliferan y se diferencian a través de la osificación intramembranosa para formar hueso inmaduro, mientras que, en los extremos del defecto óseo, se presenta el proceso de mineralización y de remodelado. Todo esto ocurre mientras se mantenga una fuerza de tracción estable (Yang et al., 2022).

Durante el proceso de la osificación por distracción, los macrófagos juegan un rol muy importante. Además, existen estudios que indican que una respuesta inflamatoria temprana facilita la resistencia a la infección y el reclutamiento de células pluripotenciales. Por otro lado, una respuesta inflamatoria excesiva interfiere con la regeneración, revascularización y mineralización (Yang et al., 2022).

Para continuar con el proceso y favorecer una regeneración ósea adecuada, debe ocurrir una transformación del ambiente inflamatorio a uno antiinflamatorio. Condición que ocurre al existir un cambio del fenotipo de los macrófagos, de las células T y B. Sin embargo, el tiempo específico de cuando ocurre este proceso es considerado aún un enigma (Yang et al., 2022).

Este proceso de transformación de los macrófagos promueve la formación de hueso durante la regeneración, por medio de la secreción de TGF- β , IL-4, BMP-2, BMP-4, IL-6, VEGF y otras citocinas (Yang et al., 2022). Además, la influencia de la estimulación durante la distracción sobre los macrófagos presenta un efecto inmunomodulador, generando una diferencia importante entre la respuesta inmune durante el proceso de consolidación de una fractura, en comparación con el que ocurre en la distracción ósea (Yang et al., 2022).

La interleucina-6, considerada proinflamatoria, ha demostrado que sus niveles son independientes del proceso de distracción y juegan un papel importante a nivel del período de latencia durante este tipo de osteogénesis. Además, se mantienen con una secreción constante y en niveles menores hasta el momento en que se finaliza la distracción. A diferencia de lo que ocurre con la interleucina-1, la cual no es inducida por fuerzas de distracción (Yang et al., 2022).

El TGF- β 1 es otro factor importante durante este proceso de distracción, aumentando sus niveles, con una expresión predominantemente por células mesenquimales, osteoblastos y por el tejido conectivo que rodean la osteotomía (Yang et al., 2022).

Existe una respuesta importante de inmunosupresión durante el periodo de distracción, donde la cuenta de leucocitos en plasma y la proteína C reactiva se elevan en forma significativa durante el período de latencia y, posteriormente, regresan a niveles normales durante el proceso de distracción (Yang et al., 2022).

La regulación de la actividad osteoclástica es un punto importante durante la osteogénesis por distracción. Participa, principalmente, RANKL (ligando del receptor activador del factor nuclear κ B), encargado de la diferenciación y activación de los osteoclastos y promoviendo la resorción ósea. También, participa la osteoprotegerina (OPG), expresada en los osteoblastos y distribuida en la superficie del hueso, para evitar una resorción ósea excesiva (Yang et al., 2022).

Completado el período de distracción, el hueso nuevo formado a nivel de la osteotomía comprime la parte central, que no se encuentra mineralizada, mientras que la zona adyacente se encuentra mineralizada e incluso remodelando. Por lo que se continúa con un proceso largo de consolidación, con el fin de completar la mineralización en esta zona central (Yang et al., 2022).

2.2. Mecanobiología de la consolidación durante los procesos de distracción

La osteogénesis por distracción es un método ampliamente aceptado como opción terapéutica para el tratamiento de numerosas patologías óseas, como lo son discrepancias de extremidades o deformidades (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021). Mediante una distracción gradual ósea, que inicia desde una osteotomía simple, se da la formación de hueso entre los fragmentos. Funciona bajo el mismo método que la técnica de transporte óseo, utilizada con mayor frecuencia en casos de no uniones o defectos óseos secundarios a infecciones o trauma; y donde se logra un transporte progresivo de un segmento óseo cercano al hueso sano u original, hasta el extremo afectado. En estos casos, se da la formación de callo en dos puntos: el sitio de distracción y el *docking site* (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021).

Ambos procedimientos buscan preservar la longitud de una extremidad, evitando así problemas de elongación a nivel de los tejidos blandos. Por ello, una limitante importante es el tiempo prolongado necesario para completar la fase de consolidación, asociado a la evolución adecuada de los tejidos blandos, para brindar una fijación definitiva (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz, et al., 2021).

Se han aplicado durante el tiempo diferentes métodos que buscan monitorear la evolución de dichas técnicas, basándose en exploraciones clínicas y radiológicas, sin embargo, los resultados no han sido completamente seguros para la toma de decisiones de forma aislada (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021).

Por su parte, los estudios de la marcha son una forma no invasiva de evaluación, pero permiten valorar parámetros cinemáticos. Es considerado un método sensible, para definir la presencia de cambios funcionales. Además, hay estudios que miden la fuerza de tensión y torsión a nivel del callo óseo durante el proceso de distracción, con el objetivo de describir sus propiedades mecánicas (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021).

Estudios de imagen como la tomografía axial computarizada brindan información de las características geométricas del callo óseo y de sus propiedades mecánicas, con la limitante de que, en caso de existir algún implante de fijación, la reflexión de este puede alterar la evaluación del proceso de consolidación (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021). Por lo tanto, durante el procedimiento, se cumple el periodo de latencia de una semana para iniciar con la distracción, con una velocidad de 1 mm/día. Durante la fase de distracción, la rigidez del callo óseo aumenta en relación con la madurez del tejido blando, así como la orientación progresiva de las fibras de colágeno a lo largo del eje axial (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021).

El proceso de distracción a nivel de los huesos largos puede llegar a presentar alteraciones a nivel del patrón de la marcha y el apoyo en los pacientes. Así mismo, es dependiente de diferentes factores como el porcentaje de elongación necesario, el efecto de tracción a nivel de los tejidos blandos, disminución en la conducción de los

nervios, discrepancia de extremidades con deformidades asociadas, secundario a mecanismos compensatorios. Sin embargo, los patrones alterados a nivel de la marcha y del apoyo se normalizan conforme se da la consolidación (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021).

La consolidación a través de la distracción ósea ha demostrado ser idéntica a condiciones normales, en 80-90% de los casos; posterior a los 50 días de iniciado el procedimiento de distracción ósea. Sin embargo, en estudios que buscan comparar los procesos de transporte y de alargamiento, por medio de valoración de radiografías en citas controles para un mismo periodo, se observó que, durante el proceso de alargamiento, no hay uniformidad en la densidad del callo durante la consolidación, secundario a la falta de distribución homogénea de las cargas, justamente por los mecanismos compensatorios que el paciente llega a desarrollar, además de la rigidez a nivel de los tejidos blandos. También, existe una diferencia del volumen del callo óseo, siendo predominante en los casos de transporte, sin que esto represente una diferencia estadística importante en las propiedades mecánicas al comparar ambos procedimientos, con la excepción de que, a nivel del callo formado en el transporte óseo, este sí se ha descrito con mayor capacidad de su módulo elástico (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Morgaz et al., 2021).

2.3. Proceso de cicatrización de heridas

La cicatrización de heridas es un proceso complejo, multifacético, gobernado por una serie de fases que se traslapan, que incluye la hemostasia, inflamación, proliferación y remodelado (Wang et al., 2018). Una vez que ocurre el daño a la piel, hay una exposición subendotelial de colágeno y factores que activan la agregación plaquetaria, llevando a una desgranulación junto con la liberación de factores quimiotácticos y de crecimiento para formar un coágulo (Wang et al., 2018).

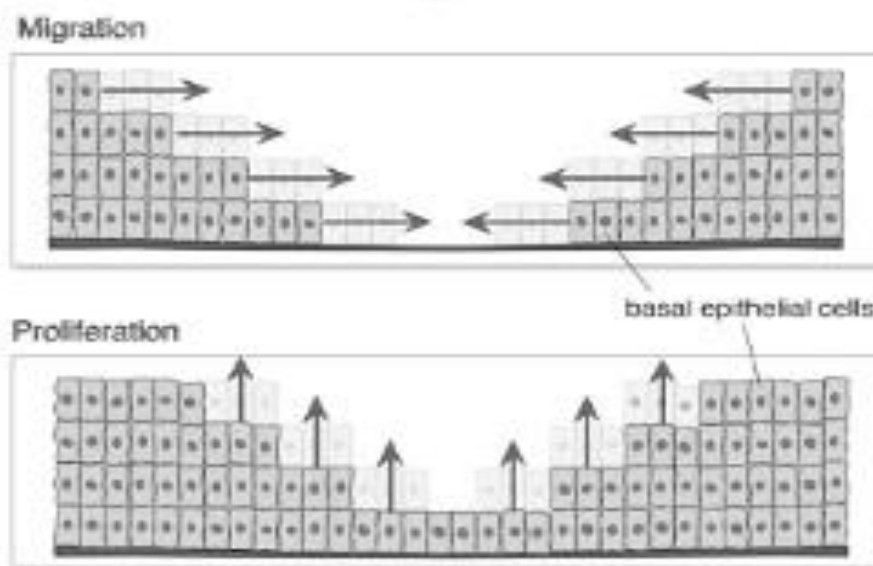
En el sitio de la lesión, las primeras células en aparecer van a ser los neutrófilos; que llegan a limpiar con el fin de favorecer un adecuado ambiente para la cicatrización.

Posteriormente, aparecen los macrófagos que se encargan de fagocitar las bacterias (Wang et al., 2018).

El proceso de hemostasia e inflamación tarda aproximadamente 72 horas en completarse. Seguido por una fase de proliferación, que abarca la presencia de múltiples células y abundante tejido conectivo. Esta fase puede tardar varios días y semanas (Wang et al., 2018).

Así mismo, una fase importante dentro de la etapa de proliferación es la angiogénesis de la herida, encargada de la formación de nuevos vasos a partir de los preexistentes. Y donde se ha demostrado que las zonas con poco oxígeno son necesarias como estimuladores de la cicatrización, y que el exceso de este evita una sobreangiogénesis (Menon y Flegg, 2021).

Figura 1. Ilustración esquemática de dos procesos principales que ocurren durante la cicatrización de heridas



Nota: células epiteliales basales migran desde los extremos hacia el centro para rellenar el defecto. Posteriormente, células en el interior de la herida proliferan a través de mitosis para reponerla.

Fuente: Menon y Flegg (2021).

La última fase es la del remodelado, donde se requiere un balance entre la apoptosis de células ya existentes y la formación de nuevas. La degradación de una matriz extracelular profusa y de colágeno tipo III inmaduro, junto con la formación de colágeno maduro tipo I, forma parte esencial de los acontecimientos que ocurren durante esta fase, con una tardanza de hasta meses e incluso años (Wang et al., 2018).

Entonces, durante esta fase ocurre una reestructuración mecánica, con cambios de las propiedades físicas del tejido, situación que ocurre en el tejido de granulación inicial, caracterizado por ser altamente vascularizado. Ulteriormente, el proceso de la angiogénesis va cesando, llevando a una cicatriz avascular con tan solo un 80% de la tensión del tejido original. Por ello, cualquier desregulación en dicho proceso lleva a una cicatriz patológica (Menon y Flegg, 2021).

2.4. Influencia mecánica del tejido blando en procesos de regeneración ósea

En estudios viscoelásticos realizados, se ha logrado describir cómo funciona el tejido blando, bajo el efecto de distracción. Se determina que la relajación del tejido circundante se comporta igual que cualquier otro proceso de regeneración (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Sanz-Herrera et al., 2021).

El efecto sobre el tejido blando, bajo fuerzas de distracción, se encuentra limitado a los primeros minutos, con una elongación de un 4% de su longitud original. Sin embargo, el tejido blando circundante inicialmente pierde algo de viscoelasticidad y, por consiguiente, sufre de endurecimiento debido a la deformidad sufrida, desde el día cinco de distracción y hasta el último de la fase, para el día 15 (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Sanz-Herrera et al., 2021).

Los músculos se adaptan a la elongación de la extremidad, adicionando nuevos sarcómeros, bajo una pequeña fuerza de extensión. Por lo que una elongación excesiva de más del 30% de la longitud inicial lleva a cambios histológicos importantes, incluida la pérdida de tensión del tejido blando (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Sanz-Herrera et al., 2021).

Con relación a los tendones y los ligamentos, poseen muy poca capacidad de adaptación, comparada con los músculos, durante estos procedimientos, ya que lleva a una disminución en sus propiedades mecánicas, sobre todo, en pacientes adultos (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Sanz-Herrera et al., 2021).

Además, durante la distracción, se da un aumento en la presión de las articulaciones, causando cambios histológicos y alteración de la conducción nerviosa, sufrida especialmente cuando existe exposición a una elongación prolongada (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Sanz-Herrera et al., 2021). Durante la fase de distracción, la fuerza involucrada para lograr la separación de estos fragmentos también tracciona el tejido blando y el callo óseo formado (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Sanz-Herrera et al., 2021). Entonces, está demostrado que los factores biomecánicos presentes durante el periodo de latencia, además del porcentaje de distracción y su frecuencia, son las claves para una distracción ósea exitosa (Blázquez-Carmona, Mora-Macías, Sanz-Herrera et al., 2021).

2.5. Fisiología de la distracción del tejido blando

El crecimiento óseo en respuesta a la distracción gradual es conocido como osteogénesis por distracción; así mismo, los tejidos blandos poseen la habilidad de cambiar en respuesta al estiramiento, denominado histogénesis por distracción (Pierrie y Hsu, 2017). Donde la respuesta a esta fuerza mecánica, a nivel del tejido blando, músculo y tendones, es que proliferen y que atraviesen por cambios biológicos a nivel celular. En pruebas con animales, se ha demostrado un aumento en el número de sarcómeros y una disminución en la longitud de las fibras musculares, activando células satélites y promoviendo la proliferación celular en el área dañada (Pierrie y Hsu, 2017).

Durante la expansión, la arquitectura esquelética y muscular se mantiene sin cambios, pero presenta una mejoría de sus redes vasculares. Además, durante la proliferación celular, se ha observado que se correlaciona de forma inversa con la edad, ocurriendo 2-3 veces más rápido en animales jóvenes. Y con cambios a nivel del tejido blando; como remodelado vascular y aumento en el número de adipocitos (Pierrie y Hsu,

2017). Este mismo proceso permite explicar por qué se usan vientres musculares desnervados en los colgajos rotacionales, y estos pueden adaptarse conforme se corrige una extremidad (Pierrie y Hsu, 2017).

2.6. Conceptualización de fracturas expuestas

La definición de una extremidad severamente traumatizada hace referencia a un miembro con afectación de, al menos, tres de los cuatro sistemas (tejido blando, hueso, nervios y vasos), siendo el manejo materia de debate. Por lo que definir si se amputa o se salva la extremidad es una decisión difícil para un médico ortopedista (Águila-Ledesma, 2019).

La incidencia anual de fracturas expuestas de los huesos largos se estima que es de 11,5 por cada 100 000 habitantes en EE.UU., 40% localizados en miembro pélvico, comúnmente en diáfisis de tibia. Siendo más frecuente en hombres que en mujeres, con una edad promedio de 56 años para hombres y 41 años para mujeres. Con mecanismos frecuentes como accidentes de tránsito, caídas y aplastamiento. Son lesiones con una mayor tasa de infección y un riesgo de retraso en la consolidación, de ahí entonces la importancia de prevenir infección y el manejo adecuado de los tejidos blandos, además de la estabilización de la fractura (Browner et al., 2019).

Las fracturas expuestas se describen por medio de la clasificación ampliamente conocida de Gustilo-Anderson, siendo la más utilizada, aunque cuenta con muchas limitaciones; como darle principalmente énfasis a la cobertura cutánea, permitiendo que el daño y la severidad a los músculos y a los huesos puedan ser subestimados (Águila-Ledesma et al., 2019).

Otra clasificación utilizada es la de Tscherne que toma en cuenta la lesión de partes blandas adyacentes, independientemente del tamaño; siendo tipo I, agujero de perforación; tipo II, contaminación moderada; tipo III, fuerte contaminación, problemas de tejidos blandos; y tipo IV, amputación incompleta o completa. Ambas clasificaciones se han podido comparar para predecir el riesgo de infección, demostrando que la

clasificación de Gustilo tiene una sensibilidad del 76,7%, una especificidad del 53,8% y una precisión del 59,5 %; mientras que la clasificación de Tscherné tuvo una sensibilidad del 56,7%, una especificidad del 82,4% y una precisión del 76,1% (Rupp et al., 2020).

Tabla 1. Clasificación de Gustilo-Anderson

Tipo	Descripción
I	Herida < 1 cm, sin contaminación
II	Herida > 1 cm, sin lesión significativa de tejidos blandos
IIIA	Lesión significativa de tejidos blandos con cobertura adecuada de tejidos
IIIB	Lesión importante de tejidos blandos con desperiostización y hueso expuesto
IIIC	Lesión arterial que requiere atención

Nota: las lesiones relacionadas con aguas residuales o la agricultura se escalan y clasifican al menos como fracturas de grado IIIA.

Fuente: Omar et al. (2021).

Tabla 2. Clasificación de Oestern y Tscherné de fracturas expuestas

Tipo I	-Fractura expuesta con herida punzante sin contusión de la piel -Contaminación bacteriana indetectable -Patrón de baja energía
Tipo II	-Fracturas expuestas con contusión pequeña de la piel y tejido blando -Contaminación moderada -Patrón de fractura variable
Tipo III	-Fractura expuesta con alta contaminación -Daño extenso de tejidos blandos -Asociado a lesión vascular o nerviosa
Tipo IV	Amputación incompleta o completa

Fuente: Browner et al. (2019).

Se ha demostrado que la gravedad del tejido blando es lo que tiene mayor impacto en la toma de decisiones con respecto al salvamento de la extremidad contra la amputación. Recordando que una amputación tardía representa un mayor costo, siendo prácticamente el doble, además de provocar un aumento significativo en la duración de la estancia hospitalaria y del número de intervenciones quirúrgicas (Águila-Ledesma et al., 2019).

Estas lesiones presentan dos complicaciones más frecuentes como lo son infección de hasta en un 28%, no unión 23%, con tasas de osteomielitis de un 8,6%, artrosis postraumática de 9,4%, necrosis o dehiscencia de la heria quirúrgica de 6,5% (Águila-Ledesma et al., 2019).

Como se conoce, durante su valoración inicial, una fractura expuesta debe cubrirse con antibiótico intravenoso, siendo las cefalosporinas de primera generación la opción de tratamiento en las fracturas expuestas Gustilo-Anderson, grado I y II, y agregándole cobertura contra las bacterias gram negativo con aminoglucósidos, esto para las fracturas grado III; además de requerir asociar penicilina en casos de contaminación fecal o de granja. Por su parte, la cobertura antibiótica no se recomienda más allá de 24 horas, una vez realizado el primer desbridamiento, ya que esto no ha demostrado reducir el riesgo de infección y más bien se asocia a resistencia antibiótica (Adamczyk et al., 2020).

Para el momento de la debridación quirúrgica, se busca extraer todo el tejido necrótico, así como todas las partículas contaminantes; se debe expandir la herida y valorar extraer todo pequeño fragmento que se considere desvitalizado. En el caso de las fracturas en metáfisis, los fragmentos normalmente no quedan libres, ya que presenta un periostio fuerte y uniones ligamentarias; detalle por considerar durante la exploración. Además, todo fragmento articular y osteocondral reconstruible se debe preservar (Adamczyk et al., 2020).

Entonces, las debridaciones se continúan haciendo hasta que se observan márgenes limpios. Y recordando que no hay diferencia entre 1 o 5 días de cobertura

antibiótica, solo en el caso de las fracturas expuestas grado III, donde sí se recomienda una cobertura por 72 horas o 24 horas, una vez la herida esté cubierta o se realice el cierre definitivo (Toogood y Miclau, T. 2017).

Por lo tanto, la cicatrización de una fractura dependerá de tener un ambiente adecuado y de la estabilidad. Debido a ello, el control glicémico, tabaco, optimización nutricional, manejo de alteración metabólicas y endocrinas se deben tener en consideración. Estas últimas pueden estar relacionadas a deficiencia de vitamina D, desórdenes de la tiroides y la paratiroides e hipogonadismo (Adamczyk et al., 2020).

Existen diferentes manejos quirúrgicos que se pueden realizar en el caso de una fractura expuesta, enfatizando aquellas que asocian algún grado de pérdida ósea y de tejido blando; como lo son la técnica de Masquelet o de membrana inducida, injerto autólogo de hueso; indicado en casos de defectos menores de 5 cm con acortamiento agudo y alargamiento. Este último permite el cierre primario de heridas sin tensión, además de funcionar mediante la osteogénesis por distracción, la cual ha demostrado ser muy exitosa, incluso con las técnicas más complejas de reconstrucción plástica (Kouzelis et al., 2020).

Entonces, como se explicó, la distracción ósea permite, por medio de una distracción lenta, pero estable, que ocurra una estimulación de la división de las células y de la regeneración del tejido blando. Pero también se asocia a complicaciones que no se pueden ignorar, como la no unión, retardo en la consolidación, dislocación y lesión de los tejidos blandos. Por ello, se mantiene un monitoreo constante de los casos, permitiendo identificar cualquier anomalía en forma temprana y actuar sobre ello (Liu et al., 2022).

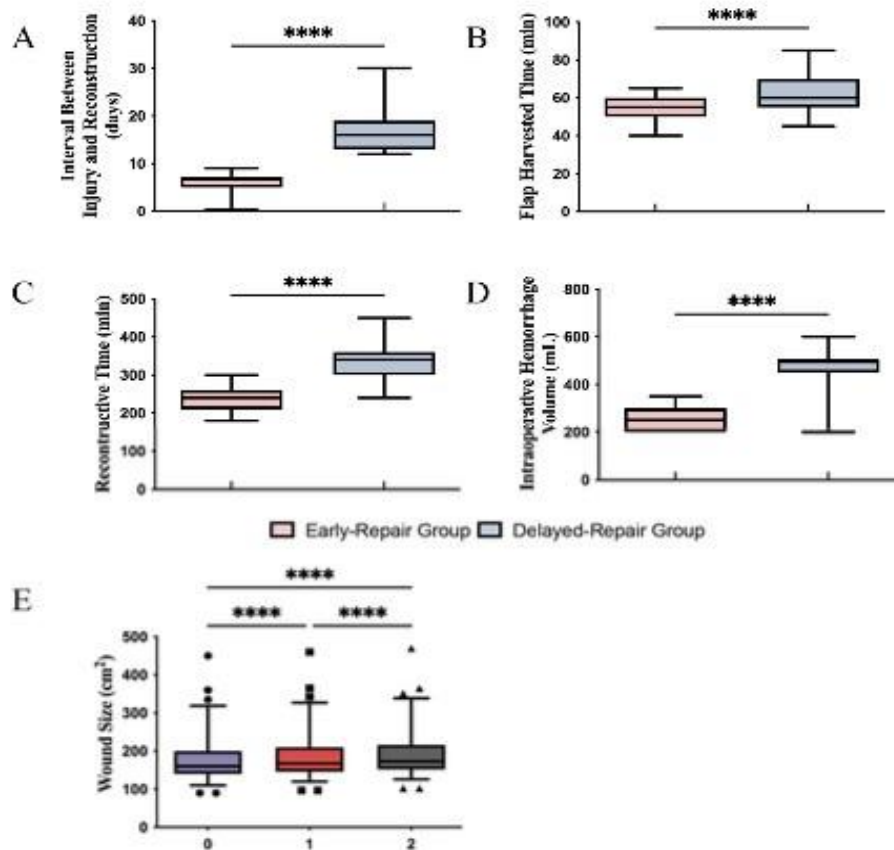
La estabilidad se puede ofrecer con un fijador externo, siendo este incómodo para el paciente y en ocasiones llega a afectar la calidad de vida. Además, requerirá de un uso prolongado, con riesgo de infección del trayecto de los pernos (Liu et al., 2022).

La evaluación del paciente para definir las características de la lesión, los diferentes manejos y la evolución de los tratamientos ofrecidos se pueden hacer mediante rayos x, tomografía computarizada, evaluación biomecánica y marcadores bioquímicos. Siendo los rayos x el método estándar y el que facilita definir si se hace retiro de un fijador externo, cuando este es utilizado en procedimientos de reconstrucción; con el criterio de la formación de un callo óseo de, al menos, 2 mm de grosor en tres o cuatro corticales en un plano anteroposterior y en un lateral (Liu et al., 2022).

La recuperación de la función de una extremidad estará correlacionada con la cobertura del tejido blando, por lo que, en el caso de presentar una fractura con compromiso importante del tejido blando que vaya a requerir de un colgajo, se debe buscar cubrir todas las estructuras involucradas, como el hueso, tendón y tejido nervioso (Li et al., 2020).

Se debe buscar una cobertura temprana de la lesión, ya que el tiempo de reconstrucción y la pérdida sanguínea intraoperatoria son significativamente menores en estos casos, en comparación con un tratamiento tardío. Además de haber un aumento de hasta el 8,20% del tamaño de la herida inicial con cada debridación que se llegue a realizar. En épocas pasadas, el periodo ideal de cobertura era de 3 a 15 días para disminuir las complicaciones. Actualmente, este tiempo es de 72 horas para tener resultados satisfactorios (Cao et al., 2022).

Figura 2. Condiciones perioperatorias que comparan un grupo de manejo quirúrgico temprano versus uno de manejo tardío



Nota: (A) El intervalo de tiempo entre la lesión y la reconstrucción es significativamente mayor en las reparaciones tardías. (B-D) La dificultad quirúrgica por un manejo tardío es notablemente mayor en casos de manejo tardío, representado en el tiempo quirúrgico, al momento de realizar un colgajo o una reconstrucción. (E) El tamaño de la herida aumenta con cada debridación. $P < 0.0001$.

Fuente: Cao et al. (2022).

Es necesario tener en cuenta que la cobertura con colgajo está asociada a complicaciones como el riesgo de infección superficial o profunda, mortalidad del sitio donador y fallo entre un 5-9%. Por ello, la extensión de las heridas se recomienda de forma longitudinal, para preservar las estructuras neurovasculares, las arterias perforantes mediales y laterales. Estos detalles son importantes, ya que el compromiso del tejido blando llega a afectar hasta un 20% de todas las fracturas expuestas (Salih et al., 2018).

Las lesiones de tejidos blandos asociadas a fracturas provocarán la destrucción de la vascularidad, que afecta de forma negativa la consolidación, llevando a infecciones, necrosis y contaminación de la herida. La terapia VAC ayuda a remover materiales infectados, exudados, reducir el edema, además, promueve la perfusión y la granulación (Nie y Zhang, 2022).

Entonces, tomar la decisión de amputar a un paciente es complicado. Existen clasificaciones que sirven como herramienta para definir el mejor manejo para el paciente, por ejemplo, la escala de Mangled Extremity Severity Score (MESS), siendo el sistema de puntuación que más comúnmente se utiliza, y el que presenta la asociación más fuerte cuando se valora junto con la función física. Además, es una escala altamente pronóstica, donde se indica un intento de salvamento primario de una extremidad en pacientes con MESS menor de 7 (Águila-Ledesma et al., 2019).

La amputación no se debe considerar como un fallo, sino como una elección deliberada debido al impacto funcional de las complicaciones que ocurren después del salvamento de la extremidad. Se han reportado en estudios los porcentajes de supervivencia entre los diferentes niveles de amputación postraumática de la extremidad inferior; la amputación transtibial tuvo mejor supervivencia en comparación con los amputados transfemorales, y a nivel funcional, el 72% de las amputaciones por debajo de la rodilla fueron capaces de caminar al menos 500 metros, en comparación con 58% de los casos por encima de la rodilla (Águila-Ledesma et al., 2019).

Figura 3. Clasificación de MESS

Apéndice A: Escala de la extremidad severamente lesionada (MESS).	
MESS (<i>Mangled Extremity Severity Score</i>). Puntuación para la extremidad severamente lesionada.	
A. Lesión de tejidos blandos/hueso	
Baja energía (puntiforme, fractura simple, herida por arma de fuego “civil”)	1
Energía intermedia (fractura expuesta o múltiples fracturas, luxación)	2
Alta energía (herida por arma de fuego “militar” o a quemarropa, lesión por aplastamiento)	3
Muy alta energía (lo anterior más gran contaminación, avulsión de tejidos blandos)	4
B. Isquemia de la extremidad	
Pulso reducido o ausente, pero perfusión normal	*1
Sin pulso, parestesias, disminución de llenado capilar	*2
Dedos fríos, paralizados, insensibles	*3
(*Puntaje se dobla en caso de isquemia de más de seis horas)	
C. Choque	
Presión sistólica siempre mayor de 90 mmHg	0
Hipotensión transitoria	1
Hipotensión persistente	2
D. Edad (en años)	
Mayores de 30 años	0
Entre 30 y 50 años	1
Mayores de 50 años	2

Fuente: Johansen et al. (1990, citado por Águila-Ledesma, 2019).

Por ello, la decisión de amputar una extremidad severamente afectada dependerá de diferentes factores; como la complejidad de la lesión, la estabilidad esquelética,

compromiso del tejido blando, vasos y daño a las estructuras nerviosas. Aun teniendo en cuenta estos datos por valorar, no existe un algoritmo exclusivo para el manejo de estas lesiones. Sin embargo, se debe considerar exclusivo que los procedimientos de reconstrucción de una extremidad se ofrecen a pacientes que se encuentren hemodinámicamente estables, para tolerar los procedimientos quirúrgicos necesarios, junto con la pérdida sanguínea que esto representa (Beeharry et al., 2022).

2.7. Manejo quirúrgico habitual: acortamiento, colgajo o transporte óseo

Retomando que el acortamiento agudo es una técnica que reduce la distancia entre los dos segmentos del hueso durante un transporte óseo, permite facilitar la consolidación y disminuye el área de superficie del tejido blando, para ofrecer un mejor manejo de este. Siendo un procedimiento aceptado para defectos cutáneos circunferenciales asociados a daño vascular y nervioso (Li et al., 2020).

Estudios han definido que la aplicación de un injerto óseo en ambos extremos del defecto favorece la consolidación más rápida, durante los procedimientos de acortamiento agudo; siempre recalando que, a pesar de no existir un límite establecido de longitud para el acortamiento que una extremidad pueda tolerar, se mantiene como margen 3 cm, pero persiste una discrepancia por varios estudios, que mencionan hasta 6 cm aceptados, predominantemente para defectos en tibia tercio medio y distal (Li et al., 2020).

Así mismo, existe literatura que justifica que, al comparar los acortamientos con el transporte, los primeros llegan a requerir de menos tiempo para consolidar y con menor necesidad de utilizar injerto en comparación con un transporte óseo (Li et al., 2020). Debido a que, durante estos procedimientos, se requiere de una osteotomía a nivel del peroné, con riesgo de un aumento del trauma quirúrgico y una elevación de la presión a nivel de la pierna, que puede llegar a afectar los nervios periféricos, generando un riesgo de afectar el eje axial a nivel de la tibia por la pérdida de la integridad del peroné o provocar un pie caído. Además de asociar en ocasiones dolor y malestar persistente posterior a un proceso de acortamiento agudo, esto relacionado con la reducción de

longitud sufrida por los vasos y los nervios, así como la tortuosidad de estos (Li et al., 2020).

Cuando se considera el uso de un colgajo de piel, se debe recordar que este favorece la presencia de ramas nerviosas cutáneas y ramas musculares, que son beneficiosas en el momento de considerar una cobertura de defectos a nivel de la extremidad afectada. Lo mismo se observa en el caso de un colgajo libre con anastomosis vascular, que permite mejorar la circulación de la extremidad (Li et al., 2020).

Los sitios donadores preferidos para los colgajos libres son aquellos con poca funcionalidad, con buena cobertura, pedículos vasculares constantes, que presenten un área importante para la resección; como lo son la cara anterolateral del muslo, a nivel torácico umbilical, dorsal ancho y colgajo de la pared lateral torácica. Sin embargo, escoger el sitio se define por las condiciones específicas de cada paciente (Li et al., 2020).

Entonces, cuando se usa un colgajo libre, permitirá una cobertura temprana reduciendo el tiempo de exposición del hueso y el riesgo de infección, aumentando el flujo sanguíneo y de nutrientes al nivel de la fractura. Y una vez cicatrizado el colgajo, también brindará el ambiente necesario para futuras cirugías, como sustituir el fijador externo por una placa o la colocación de un injerto, en los casos de no unión (Li, Zeng et al., 2021).

Con relación al transporte óseo, este puede ser bifocal. Los transportes bifocales que consisten en realizar una única osteotomía presentan sus desventajas, como el uso por tiempo prolongado de un fijador externo, una pobre regeneración ósea y complicaciones de forma frecuente (Xu et al., 2021). Por su parte, el término trifocal se refiere a la aplicación de una doble osteotomía, la cual se aplica para defectos óseos iguales o mayores a 8 cm, y defectos cutáneos de hasta 15 cm², con complicaciones descritas como contracciones del tejido blando, infección del trayecto de los pernos, no uniones a nivel del *docking site* y refracturas (Xu et al., 2021).

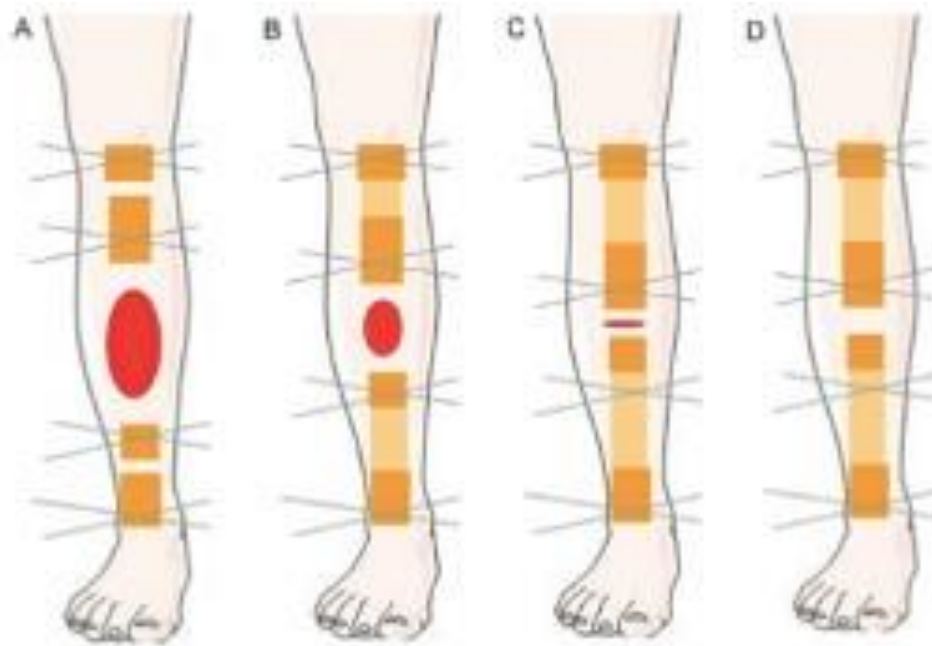
Por lo que, en traumas severos, donde el acortamiento es una opción quirúrgica, pero limitada a defectos de menos de 5 cm, por el riesgo de compromiso vascular y nervioso; un transporte trifocal es una opción, para tratar defectos de mayor tamaño, con menos tiempo de distracción y menos tiempo para la curación de los tejidos blandos. Incluso el doctor Paley lo ha mencionado como un tratamiento con buenos resultados en casos de defectos de más de 10 cm (Xu et al., 2021).

Así, otra técnica descrita como “transporte óseo abierto” recomienda la resección ósea hasta que se logre el cierre primario de la herida presente en la extremidad afectada; en este, se debe tener la consideración al momento de colocar los tornillos Schanzs del fijador externo, los cuales se deben mantener lo más próximos a las heridas, para evitar la resistencia excesiva del tejido blando o la pérdida de la tracción. Además, se puede colocar espaciadores de sulfato de calcio, drenajes y coberturas antimicrobianas, con el fin de mantener la zona seca y limpia. Es considerado un método de cobertura que no presenta tasas de infección importantes, incluso con solo la colocación de gasa limpia para cubrir, esta se recomienda en casos de defectos pequeños que no cumplan criterios para un colgajo inicial (Li et al., 2020).

En general, lo que busca es que, por medio de los pines y tornillos, la piel vaya estirando para cubrir el defecto, sumado al proceso de distracción del hueso. En resumen, logra cubrir el defecto sin necesidad de un colgajo, con las desventajas de uso prolongado de un fijador externo, un proceso de consolidación alargado y una cicatriz (Xu et al., 2021).

Tiene como requisito que, a nivel de ambos extremos del hueso, estos deben tener adecuada cobertura de tejido blando, para que estos no vayan a protruir durante el transporte (Xu et al., 2021). Es una técnica que funciona como opción en el caso de no contar con un cirujano que realice los colgajos, sin embargo, no es superior que los procedimientos microvasculares de cobertura (Xu et al., 2021).

Figura 4. Ilustración que demuestra la consolidación durante el proceso de transporte óseo abierto



Fuente: Xu et al. (2021).

Entonces, los defectos de tejidos blandos se consideran lesiones retardoras para el equipo médico. Todos estos desórdenes requieren de un adecuado diagnóstico, resucitación, manejo y soporte. Situación que ocurre en las fracturas expuestas, las cuales provocan lesiones a nivel de los tejidos blandos de todo tipo, con compromiso de la cobertura ósea y daño de la circulación local, generando un efecto negativo sobre la curación de la fractura, asociando infecciones y necrosis (Nie y Zhang, 2022).

2.8. Una deformidad artificial como opción quirúrgica

Existen múltiples opciones quirúrgicas para la cobertura de un defecto cutáneo, las cuales ya son ampliamente conocidas e incluyen opciones como un colgajo rotacional o libre. Sin embargo, estos presentan un alto riesgo de necrosis y fallo, complicaciones de herida como la infección, morbilidad del sitio donador, insuficiencia vascular, retraso en el apoyo de la extremidad y dificultad para hacer procedimientos secundarios sobre el colgajo, como osteosíntesis o uso de injerto óseo. Además, se debe recordar que la

cobertura de heridas reduce el riesgo de infección y mejora la circulación en la zona afectada (Pierrie y Hsu, 2017).

Para esta opción terapéutica, se deben tener consideraciones prequirúrgicas, como lo son los factores de riesgo modificables para una mala evolución; tabaco, uso de opioides, hiperglicemia, deficiencias endocrinológicas y malnutrición (Pierrie, y Hsu, 2017). Además, bajo el concepto de histogénesis por distracción, funcionan las técnicas de acortamiento y la angulación, que se pueden utilizar para manejar lesiones con importante desvitalización de hueso, pérdidas segmentarias y heridas con importante daño de tejidos blandos. Entonces, la histogénesis por distracción permitirá crear un nuevo tejido blando, conforme el tejido se va expandiendo (Pierrie y Hsu, 2017).

El acortamiento agudo es una técnica que se utiliza para defectos pequeños de los miembros inferiores, donde la discrepancia se puede corregir con una plantilla, es decir, defectos iguales o menores a 2 cm (Pierrie y Hsu, 2017). Para defectos de tamaño moderado, el acortamiento puede ser combinado con un transporte óseo con el fin de restaurar la simetría de la extremidad y la longitud (Pierrie y Hsu, 2017).

Y para los defectos de mayor tamaño y asimétricos, la deformidad angular se puede considerar una opción terapéutica; se realiza el abordaje a nivel de la concavidad de la deformidad para facilitar el cierre de la herida. Además, en defectos de piel grandes, los colgajos rotacionales, acompañados con acortamiento, angulación y rotación, son una estrategia conocida como expansión gradual del músculo (Pierrie y Hsu, 2017).

2.9. Acortamiento con o sin angulación

Esta técnica es útil en casos de heridas circulares o transversas que, en otro caso, no cerrarían mientras la extremidad mantenga la misma longitud. También, es útil en los casos de lesión vascular o nerviosa, donde el acortamiento facilitaría una anastomosis directa o una neurotización primaria (Pierrie y Hsu, 2017).

No existe un consenso respecto a la longitud de acortamiento máximo que se permite, sin embargo, se recomienda que sea de 3 cm, ya que un acortamiento extremo

puede llevar a un espasmo vascular. En estudios realizados, con acortamientos de 4-6 cm, donde se les realizó una angiografía a la semana del procedimiento agudo, se observó que las arterias llegaron a curvar. Por ende, es recomendable que los pacientes sean valorados en estos casos con un *doppler* en forma pre y postquirúrgica (Pierrie y Hsu, 2017).

Por ende, durante el acortamiento se realiza compresión en el sitio de la fractura y una distracción a través de una corticotomía, la cual es realizada lejana al sitio de la lesión. Esta corticotomía mejorará el flujo sanguíneo de 4 a 5 veces, para, posteriormente, colocarle un fijador circular o un fijador hexápodo computarizado (Pierrie y Hsu, 2017).

La técnica para estos casos consiste, como primer paso, en resecar todo el hueso desvitalizado, utilizando osteotomías o con una cierra oscilante, hasta el punto de ver hueso sano o sangrado en el extremo; además, se realiza un corte al peroné para poder acomodar o reducir el acortamiento. Sin olvidar que se debe realizar una valoración con Doppler, así como documentar las características de la señal (trifásica, bifásica, monofásica) (Pierrie y Hsu, 2017).

Se realiza una reducción del hueso afectado, para lograr contacto entre los bordes de la herida en piel, si se necesita una deformidad angular, para que el defecto cutáneo cierre; esta se debe realizar en la concavidad de la herida. Estas deformidades son aceptadas, siempre y cuando, no haya compromiso de la señal de Doppler (Pierrie y Hsu, 2017).

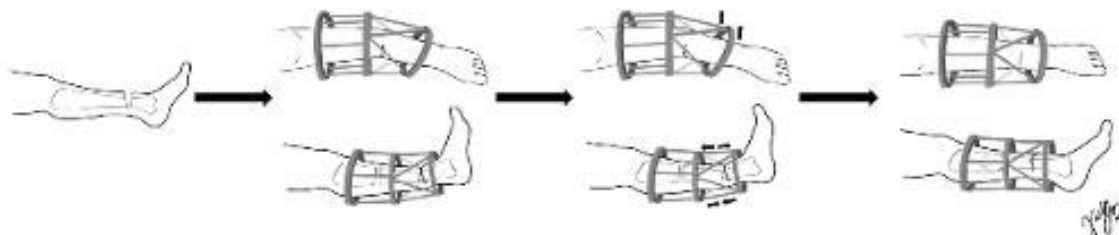
En los casos en que el defecto es grande y haya complicaciones del tejido blando, el acortamiento puede realizarse en forma gradual, con una velocidad de 2 mm/día. Y, por último, se estabiliza la extremidad con un fijador externo (Pierrie y Hsu, 2017). La corrección de la deformidad adquirida se empieza a corregir hasta que la piel se encuentra sana, la cual puede llegar a durar días o semanas, por lo que se recomienda dejar las suturas para evitar complicaciones adicionales como dehiscencias (Pierrie y Hsu, 2017).

Además, un estudio basado en una revisión sistemática, que abarcaba artículos a partir de 1991 hasta el 2021, determina que el mejor aparato para corregir deformidades es el fijador externo tipo Ilizarov, ya que otros tipos de fijadores, como el tipo Taylor Spatial Frame, que es un sistema hexápodo, presenta complicaciones como que las piezas no son compatibles con otros implantes de fijadores externos, dificultad para fijarlo y complejidad en el uso del *software* (Plotnikovs, Movcans y Solomin, 2022).

2.10. Opción de acortamiento agudo más creación de una deformidad intencional para cerrar defectos en tejidos blandos

Como se ha mencionado, las extremidades inferiores pueden acortarse en forma aguda e intencional en múltiples planos para simplificar el cierre de defectos en tejidos blandos, con la aplicación posterior de un procedimiento de alargamiento y corrección gradual de la deformidad (Jones et al., 2021).

Figura 5. Acortamiento agudo e intencional de una fractura expuesta de tibia puede simplificar la reconstrucción en lesiones tipo IIIBC/C.



Fuente: Jones et al. (2021).

Estas técnicas suelen estar decididas posterior a la valoración de ortopedistas y de cirujanos plásticos, dependiendo de las comorbilidades del paciente y del flujo vascular de la extremidad afectada, así como de las características de las heridas. Además, es de suma importancia el mecanismo de la lesión y el antecedente de tabaquismo en el paciente (Jones et al., 2021).

Una recomendación para aplicar una deformidad intencional es garantizar que el defecto cutáneo se encuentre cercano al foco de fractura, y que esta sea una

imperfección oblicua o transversa, ya que se ha demostrado que son las que presentan mayor beneficio (Jones et al., 2021).

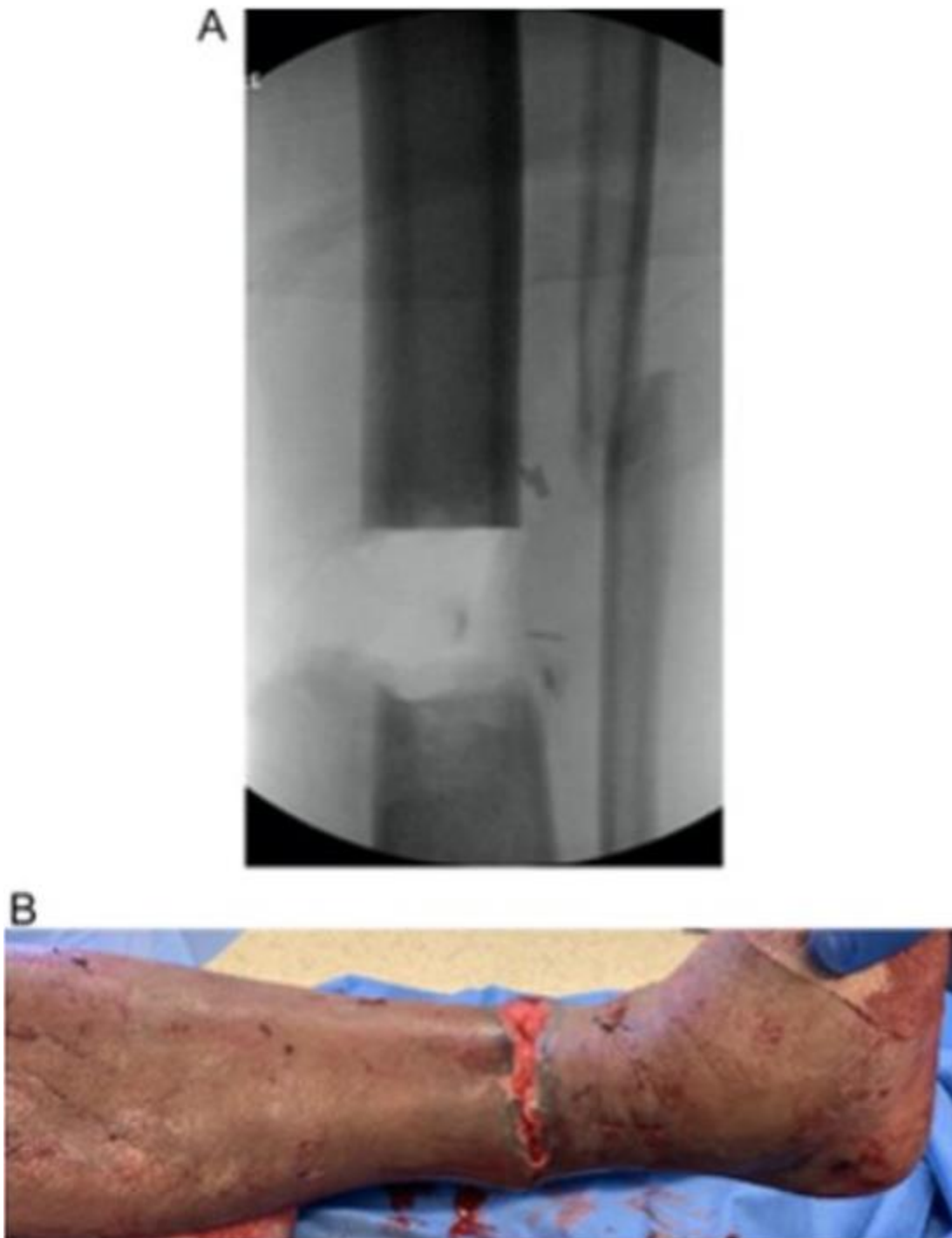
Las deformidades más frecuentes que se aplican durante este procedimiento son el varo, ápex posterior y rotación interna. Donde las osteotomías a nivel del hueso durante el acortamiento, normalmente, buscan que sean con una orientación transversa para favorecer la compresión y, después, permitan la reorientación (Jones et al., 2021).

Una vez que se haya cubierto el defecto mediante la deformidad intencional, se puede cambiar el fijador de trauma que normalmente se coloca en la cirugía inicial de control de daños, por uno circular o hexápodo para el manejo definitivo (Jones et al., 2021). Estos sistemas, como se ha explicado, permitirán la corrección gradual una vez que el tejido blando esté sano, que suele ocurrir entre 14-20 días. Un beneficio debido a la estabilidad brindada por el fijador es que permite el apoyo a tolerancia en forma temprana (Jones et al., 2021).

Entre las complicaciones descritas, se mencionan las infecciones postoperatorias que abarcan desde enfermedad del trayecto de los pines hasta casos más profundos, la pérdida de algún injerto o colgajo aplicado para el cierre del defecto cutáneo, discrepancia de la extremidad, amputación, riesgo de linfedema, alteraciones del flujo vascular, venoso y nerviosa; visto, sobre todo, en casos donde se realizan acortamientos de más de 3,5 cm (Jones et al., 2021).

Se les debe ofrecer a los pacientes un seguimiento prolongado postoperatorio, de aproximadamente 30 meses e idealmente con valoraciones de Doppler constantes; por los riesgos de compromiso vascular antes mencionados (Jones et al., 2021). Es una técnica que en la literatura es considerada aceptada y con adecuada evolución en las fracturas expuestas tipo Gustilo Anderson IIIA y IIIB, con defectos cutáneos de un rango entre 2- 50 cm² y pérdidas óseas de aproximadamente 5 cm manejadas con un acortamiento agudo (Jones et al., 2021).

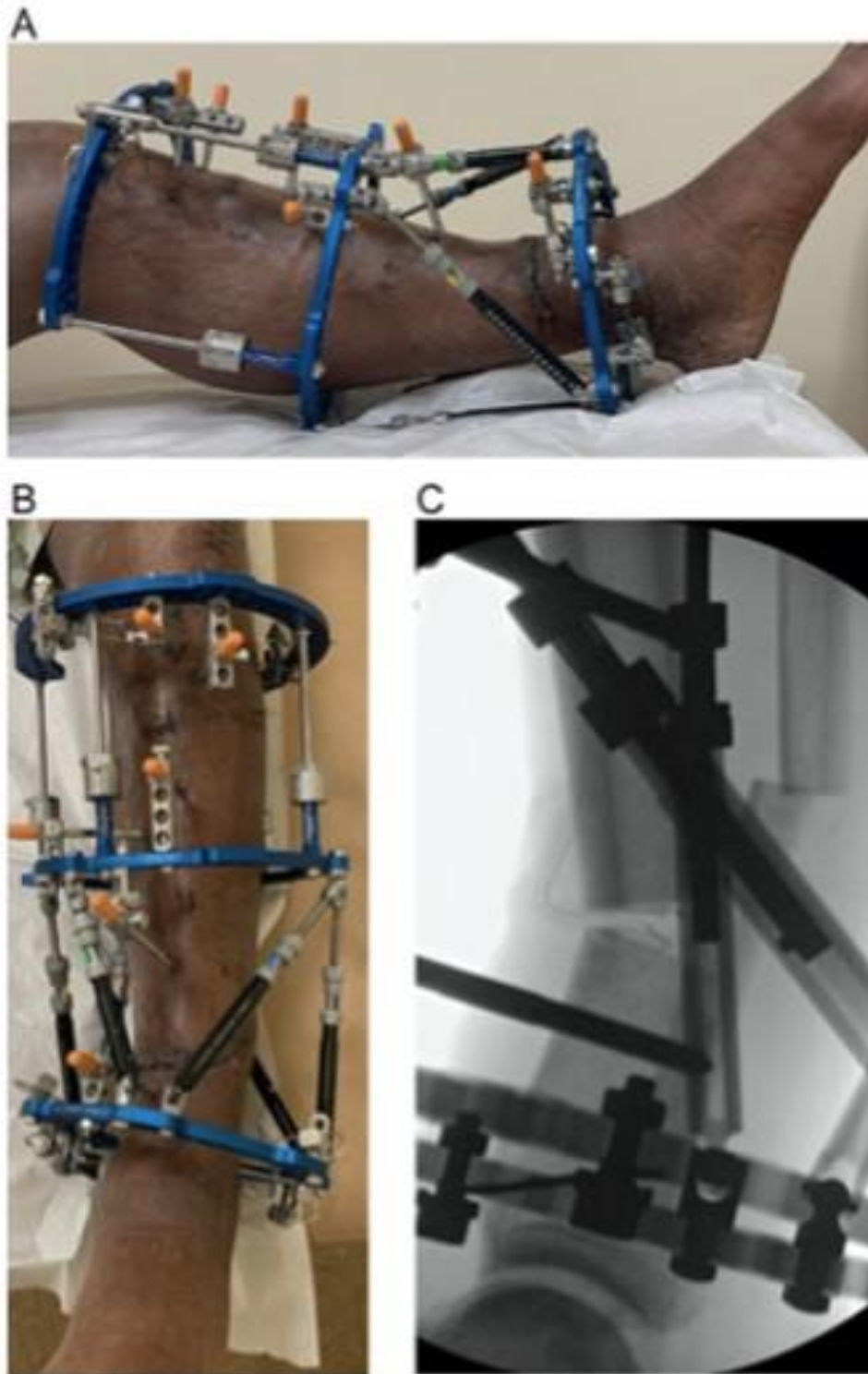
Figura 6. Radiografía de resección y deformidad manual



Nota: A) Radiografía donde se observa la resección de 4 cm de hueso infectado no viable. B) Deformidad manual para valorar la efectividad del cierre de la herida mediante una deformidad y acortamiento.

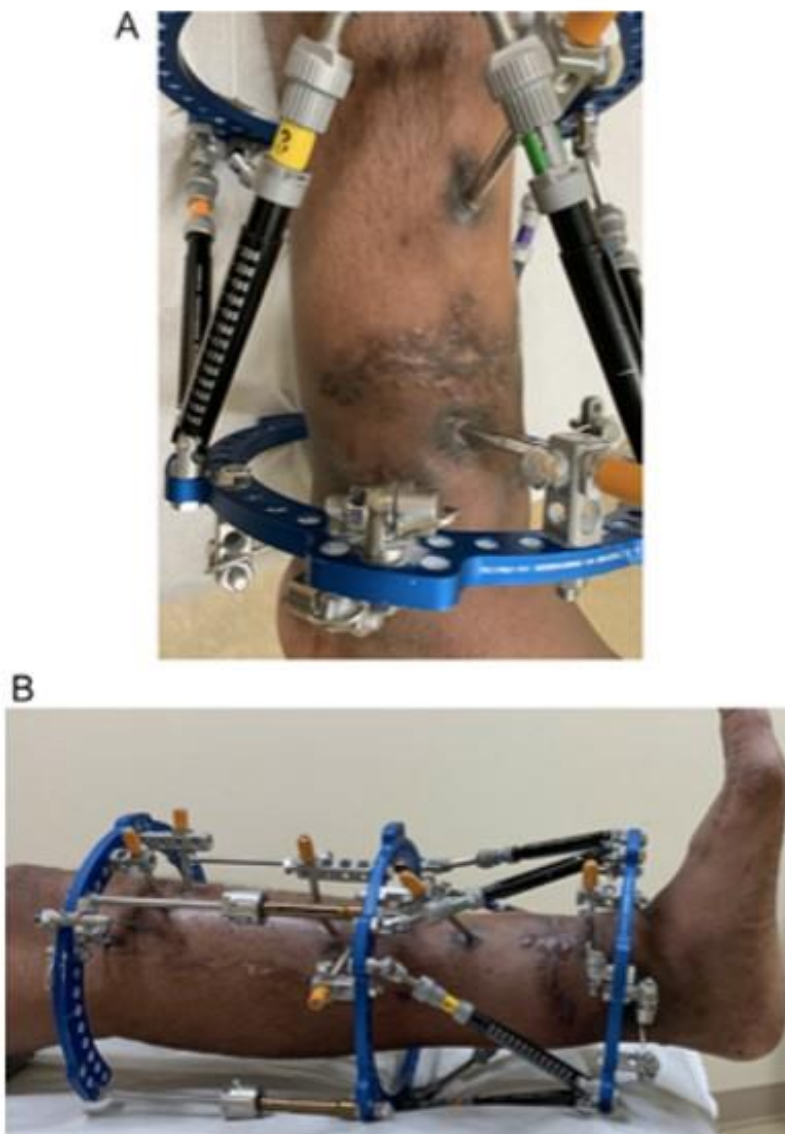
Fuente: Jones et al. (2021).

Figura 7. Cierre primario de herida posterior a la aplicación de un fijador externo tipo Taylor Spatial Frame, posterior a la resección de hueso y de crear una deformidad



*Nota: Deformidades en varo y con una angulación con ápex posterior.
Fuente: Jones et al., (2021).*

Figura 8. Apariencia de la evolución de la cicatrización de la herida en 3 semanas.



Fuente: Jones et al. (2021).

Figura 9. Apariencia final de la extremidad y apariencia final de la radiografía



Nota: A) Apariencia final de la extremidad que demuestra una excelente evolución en la cicatrización. B) Apariencia final de la radiografía, una adecuada alineación y consolidación del sitio de la fractura de la tibia.

Fuente: Jones et al., (2021).

Por ello, las deformidades inducidas son una técnica que, en general, permite el cierre de heridas en forma primaria, permitiéndole al paciente regresar a sus actividades de una forma dependiente y rápida. Además, permite una adecuada evolución en el proceso de consolidación y cicatrización del hueso y del tejido blando. Por lo que es considerada una técnica que, de no ser por ella, la única opción quirúrgica para el paciente sería la amputación (Jones et al, 2021).

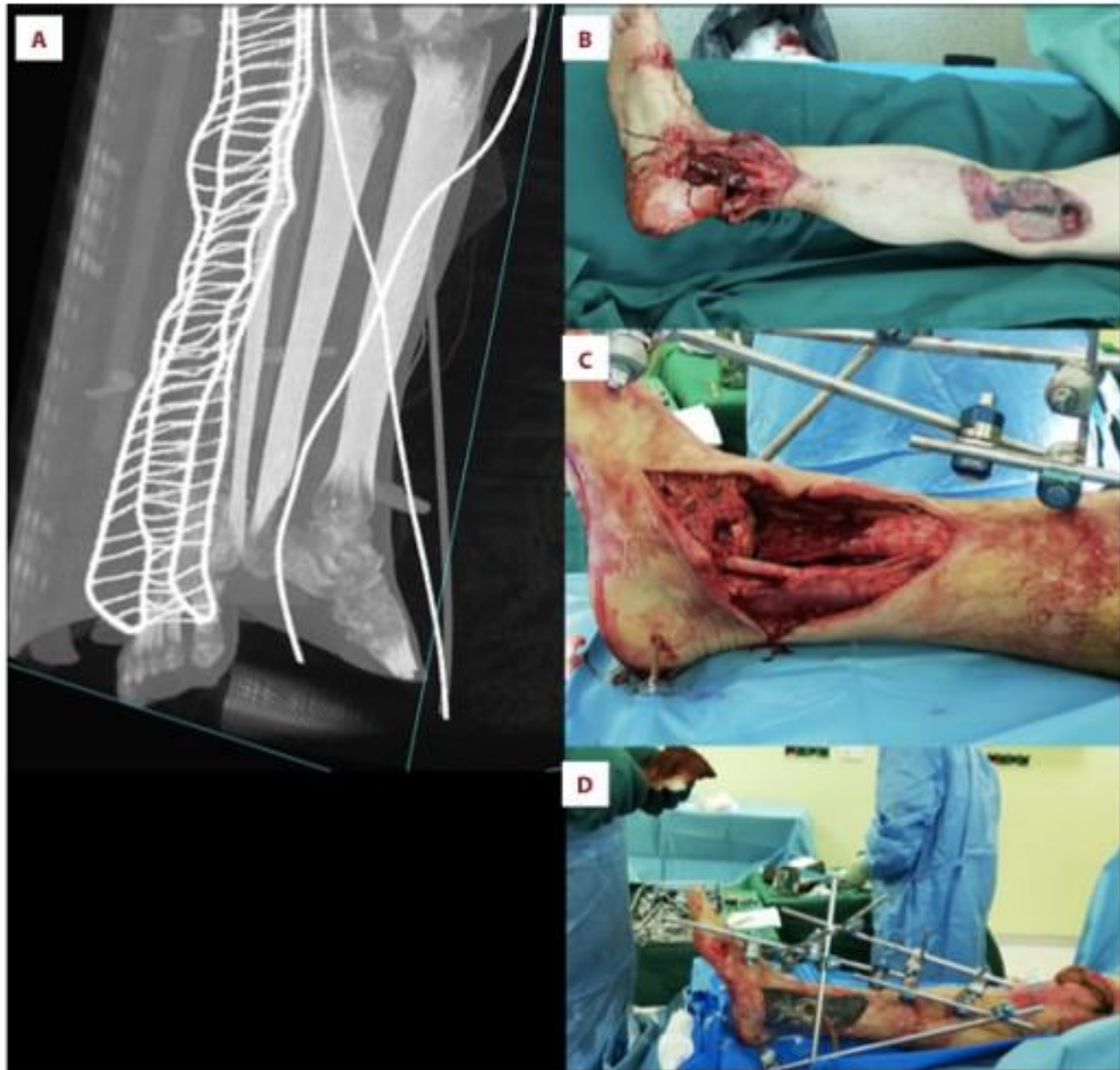
2.11. Caso descrito

Paciente masculino de 52 años, quien sufre un accidente en motocicleta, con una fractura expuesta de tibia grado IIIB de Gustilo- Anderson, con un defecto severo de tejido blando. Una vez completados los estudios de imagen con rayos x y con tomografía, asociaba un defecto óseo de 10 cm. Se llevó a sala de operaciones para lavado más debridación y colocación de un fijador externo monolateral para dar estabilidad y terapia VAC; esto como manejo inicial. A los 3 días, fue llevado a sala de operaciones a una segunda intervención quirúrgica y al cierre de la herida mediante la provocación de una deformidad, se le realizó: 32° de varo, 45 ° de ápex posterior en angulación, rotación interna de 15° y una traslación de 3 cm posterior y de 1 cm medial, todo el procedimiento con valoración por ultrasonido Doppler constante (Plotnikovs, Ribakovs et al., 2022).

A los 28 días, se le realiza el cambio por un fijador circular; en este caso, se utilizó un hexápodo, el cual permitió iniciar las correcciones el mismo día que se coloca a intervalos de cada 6 horas. A los 36 días, se observa que la corrección se completa y se programa el retiro del fijador (Plotnikovs, Ribakovs et al., 2022).

Para el día 80, el paciente presenta un acortamiento de 9,6 cm. Después de 3 meses, cuando se observa consolidación mediante estudios de imagen, se realiza una doble osteotomía, para iniciar el transporte. La deformidad generó resultados descritos con 80% de funcionalidad física, 85% de funcionalidad psicológica y función social en un 100% (Plotnikovs, Ribakovs et al., 2022).

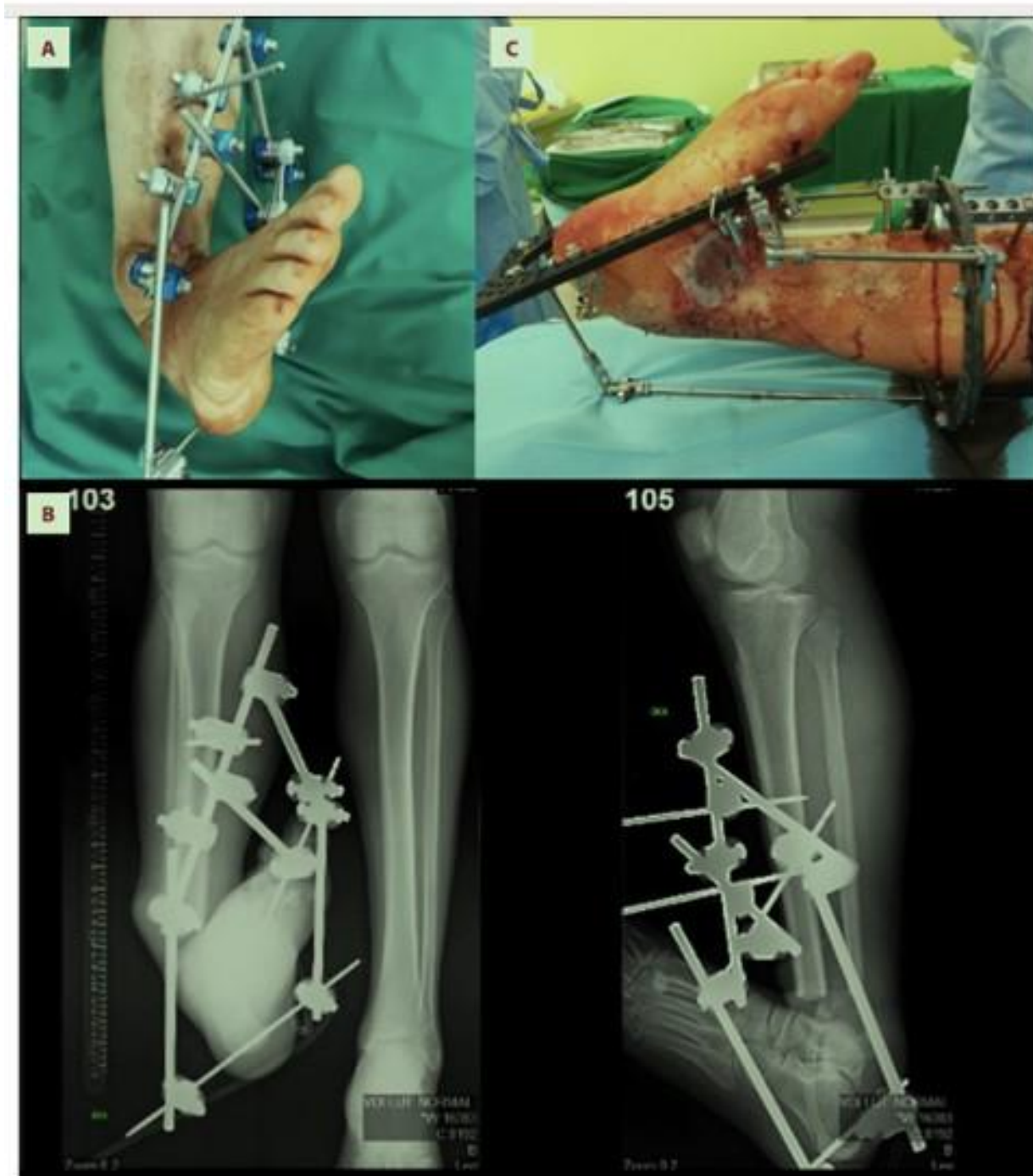
Figura 10. Tomografía preoperatoria, fotografía prequirúrgica, imagen clínica preoperatoria y fotografía postquirúrgica



Nota: (A) Tomografía preoperatoria del paciente de 52 años, con una fractura expuesta Gustilo-Anderson GIIIB de tibia en tercio distal. (B) Fotografía prequirúrgica, donde se observa el daño severo de tejidos blandos. (C) Imagen clínica preoperatoria con daño de tejidos blandos y defecto óseo, posterior a la debridación. (D) Fotografía postquirúrgica, donde se observa la estabilidad de la fractura utilizando un fijador externo tipo monolateral y terapia VAC.

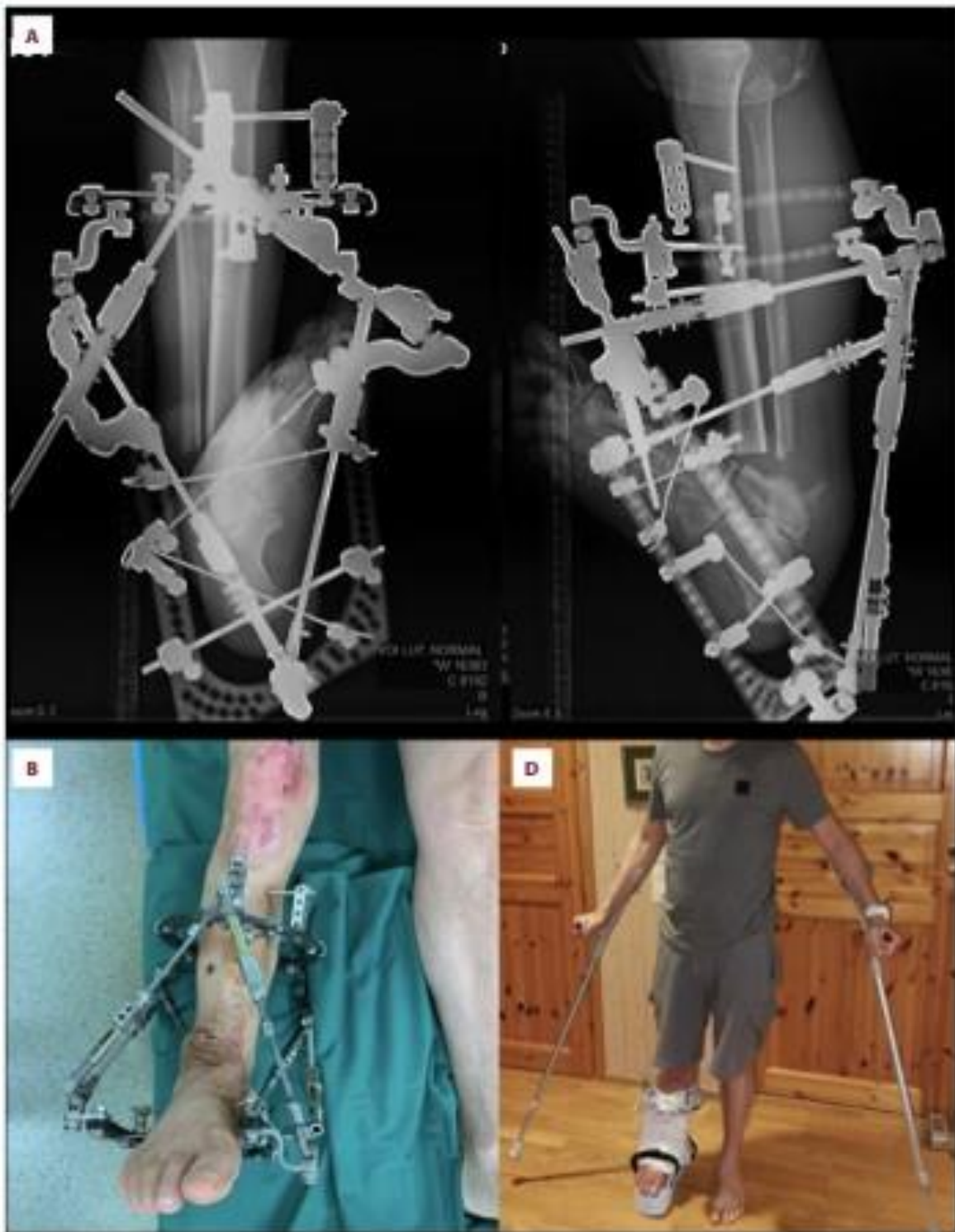
Fuente: Plotnikovs, Ribakovs et al. (2022).

Figura 11. Fotografía que demuestra el cierre de la herida, rayos x que demuestra el daño de la pierna y fotografía que presenta el defecto residual



Nota: (A) Fotografía que demuestra el cierre de la herida en la extremidad afectada por medio de la técnica de deformidad adquirida, aplicando acortamiento, traslación, angulación y rotación. (B) Rayos x que demuestra el daño de la pierna después del procedimiento quirúrgico. (C) Fotografía que presenta el defecto residual y el cierre con autodermoplastia.
Fuente: Plotnikovs, Ribakovs et al. (2022).

Figura 12. Imagen precorrección y de la corrección de la deformidad



Nota: (A) Imagen precorrección. (B) (C) Se observa la corrección de la deformidad para aproximadamente 111 días.

Fuente: Plotnikovs, Ribakovs et al. (2022).

Figura 13. Rayos X donde se observa el eje anatómico posterior y presentación anatómica con el resultado final



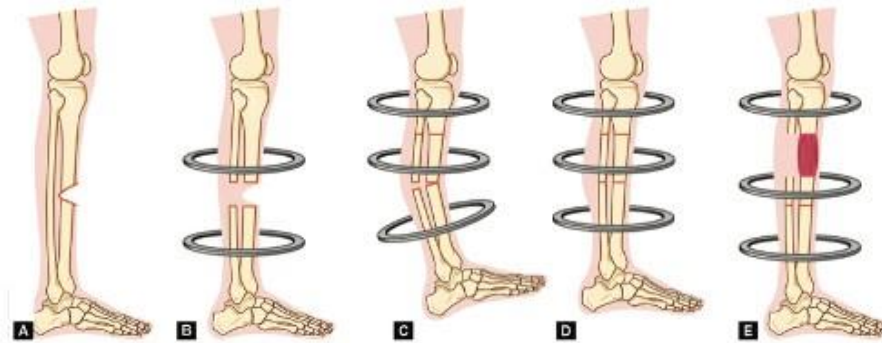
Nota: (A) Rayos X donde se observa el eje anatómico posterior a la restauración y la buena consolidación. (B) Presentación anatómica con el resultado final y donde se observa el apoyo completo por parte del paciente.

Fuente: Plotnikovs, Ribakovs et al. (2022).

2.12. Eficiencia de la deformidad temporal en tres pacientes

Se han descrito en artículos, casos donde se aplica un acortamiento agudo junto con una deformidad utilizando un fijador externo tipo hexápodo y donde se genera una deformidad intencional para lograr el cierre primario de la herida y, posteriormente, a la semana iniciar con el protocolo de corrección de la deformidad (Ugaji et al., 2022).

Figura 14. Esquema de deformidad intencional y acortamiento



Nota: (A) Hueso y tejido blando innecesario es removido. (B) Fijador externo es aplicado. (C) La deformidad y el acortamiento es aplicado de forma temporal hasta que se cubre el defecto. (D) Corrección de la deformidad y alargamiento. (E) Alargamiento del otro extremo.
Fuente: Ugaji et al (2022).

Figura 15. Progreso radiográfico



Nota: (A) Paciente con fractura expuesta en tibia proximal. (B) En una primera intervención se le realiza un acortamiento de la tibia de 3 cm, y se aplica un fijador externo tipo monoplanar. (C) Se aplica una deformidad a la pierna a través de la fractura a 25° con ápex posterior, y se realiza una osteotomía distal a la tibia para alargamiento. (D) Posterior de la corrección y alargamiento. (E) Se hace conversión a placa. (F) Radiografía control con adecuada alineación y longitud simétrica de ambas piernas.
Fuente: Ugaji et al (2022).

En el caso descrito, se realiza un alargamiento, el cual se comenzó a nivel de la osteotomía distal, dos semanas posteriores a la cirugía, a una velocidad de 0,5 mm/día. Se mantuvo la deformidad por tres semanas y se finalizó a las seis semanas. Por último, la discrepancia que presentaba posterior a la corrección, descrita de 45 mm, tardó aproximadamente tres meses en equipararse a la otra extremidad; momento para el cual la herida estaba sana, por lo que se pudo realizar el procedimiento final, que consistía en retiro del fijador externo, para colocar una placa. Y a los 15 meses posteriores de la primera cirugía, el paciente tenía una excelente evolución, donde lograba caminar sin dolor (Ugaji et al., 2022).

2.13. Comparación del fijador externo circular y el hexápodo durante la corrección

Con relación a los métodos de fijación externa que se pueden aplicar durante la corrección de una deformidad, el método de fijación externa tipo Ilizarov es ampliamente conocido para el tratamiento de fracturas, corrección de deformidades y cirugías de salvataje de extremidades (Watts et al., 2023). Durante la marcha, se sufren tres tipos de fuerzas de carga a través de la fractura: una axial, de torsión y de doblado, donde cada una genera un efecto a nivel del foco de fractura, sobre todo, en etapas iniciales de la cicatrización (Watts et al., 2023).

Desde 1998, Carter menciona que la diferenciación de las células pluripotenciales en el foco de fractura estará influenciada por su ambiente alrededor, en caso de ser estable; la diferenciación será hacia un linaje osteogénico, si no se transforma en células condrogénicas (Watts et al., 2023).

Los factores que influyen en la estabilidad del fijador son desde ensamblaje del fijador, el número de aros, uso de agujas, uso de medio perno o perno completo. La combinación de agujas con pernos brinda una adecuada estabilidad, al disminuir el movimiento a nivel del sitio de la fractura (Watts et al., 2023). Por lo que, al momento de comparar los fijadores tipo Ilizarov con el hexápodo, se concluye que este último presenta mayor rigidez a fuerzas de tensión, en comparación con el Ilizarov que presenta mayor

resistencia a las fuerzas axiales; detalle por tener en consideración al momento de planear una cirugía de corrección (Watts et al., 2023).

2.14. Otras alternativas terapéuticas asociadas a defectos cutáneos

Se ha llegado a demostrar en un estudio realizado en 20 pacientes, desde el 2014 hasta el 2019, con una edad promedio de 18 a 60 años, quienes presentaban un defecto óseo importante secundario a una infección; con defectos de igual o más de 8 cm y asociado a pérdida de cobertura cutánea masiva de aproximadamente igual o más a 200 cm² (Li, Chen et al., 2021).

Se excluyeron pacientes que presentaron alteración neurovascular. En general, se les brindó un seguimiento de 43,5 +- 23.2 meses, y la mayoría presentó resultados excelentes. Con este estudio, se ha demostrado que pequeños defectos cutáneos pueden sanar de forma espontánea, durante el proceso del transporte óseo o se puede cerrar la herida en forma aguda y gradualmente alargarse durante un tratamiento con acortamiento o con angulación, sin necesidad de una cirugía plástica mayor (Li, Chen et al., 2021).

Es ampliamente conocido que los colgajos libres presentan muchos beneficios; introducen un tejido sano y bien vascularizado, oblitera un espacio muerto y promueven hueso sano. Sin embargo, estos procedimientos tienen limitaciones, por ejemplo, se requiere reconstrucción de microcirugía, morbilidades del sitio donador y fallos en el colgajo (Li, Chen et al., 2021). En el caso de pacientes tabaquistas, desnutridos, con múltiples traumas, infecciones sistémicas, diabetes no controlada, o enfermedad vascular, no son considerados candidatos para un colgajo (Li, Chen et al., 2021).

Cuando el defecto cutáneo es grande, es equitativo a la necesidad de un colgajo de gran tamaño, asociado a una demanda metabólica mayor, y un alto riesgo de sufrir isquemia (Li, Chen et al., 2021). En estos casos, la estrategia terapéutica básica consiste en lo siguiente:

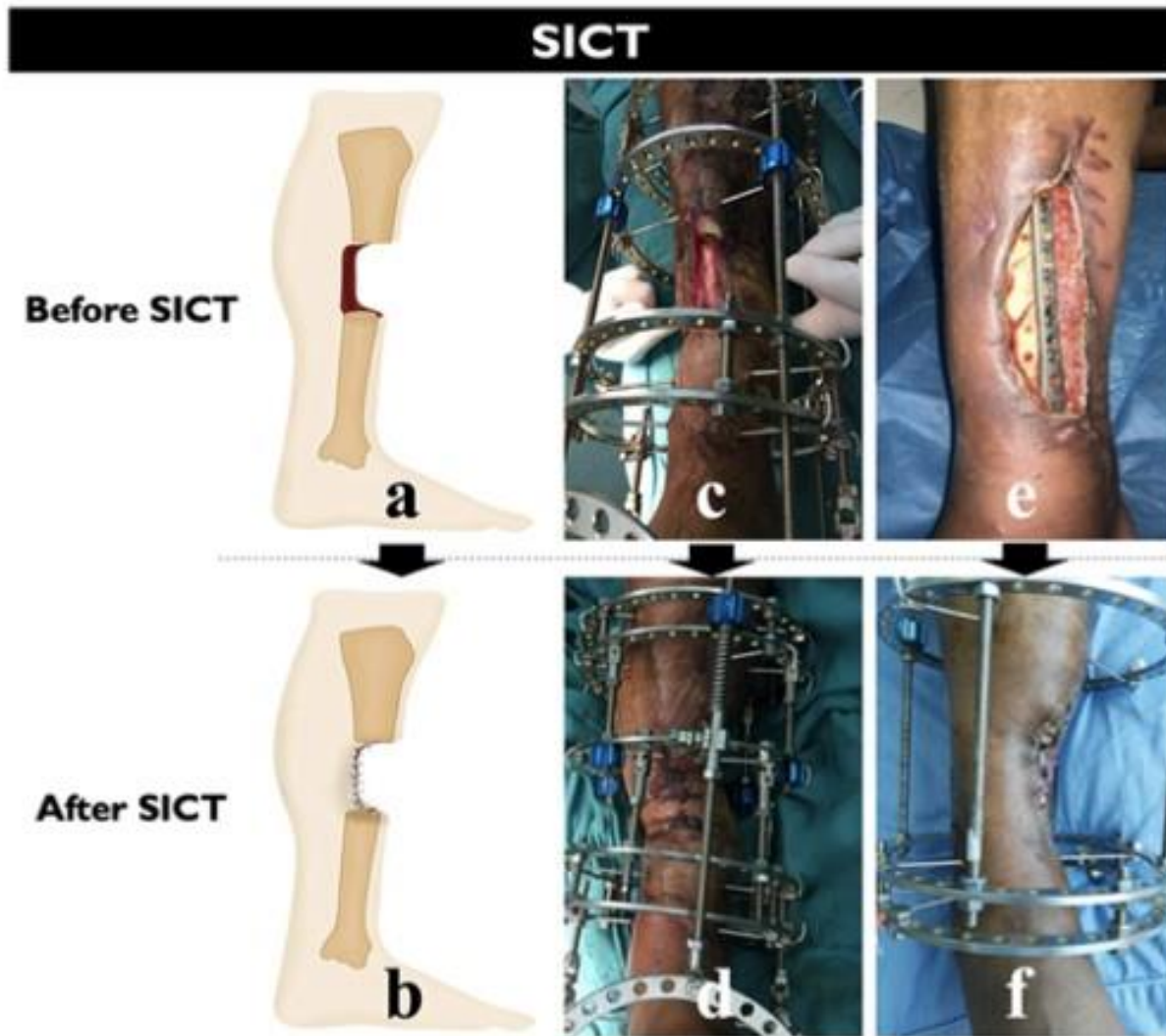
Debridar en forma importante todo el tejido necrótico y desvitalizado, con toma de múltiples cultivos y con la colocación de un espaciador de cemento con antibiótico para tratamiento local. Además, se puede colocar terapia VAC para cubrir el defecto cutáneo, es un método ampliamente conocido y con utilidad en múltiples áreas de la medicina, secundarios a lesiones abdominales, cirugías bariátricas, quemaduras, úlceras por presión, entre otras. Y consiste en generar una construcción con un sistema cerrado de succión, para generar una presión negativa; provocan un ambiente que remueve bacterias, exudados, reduce el edema, además, promueve la perfusión y la granulación (Nie y Zhang, 2022).

Posteriormente, es necesaria una exploración en cada lavado de la condición del tejido de granulación, así como de la herida, y esta se debe realizar cada 5-7 días. Una vez que esté en condiciones la herida, se puede realizar un injerto de piel (Li, Chen et al., 2021).

Los acortamientos o alargamientos se realizaron una vez que el proceso infeccioso estaba controlado, posterior a múltiples desbridamientos (Li, Chen et al., 2021). Además, entre las opciones quirúrgicas que se pueden aplicar, se mencionan las siguientes técnicas:

Técnica de encarcelación de tejido blando (SICT). Se busca una cobertura de tejido blando sobre el defecto óseo, con este método se logra cerrar la herida sin generarle mucha tensión a la piel (Li, Chen et al., 2021).

Figura 16. Imágenes para demostrar técnica de encarcelación de tejido blando (SICT)



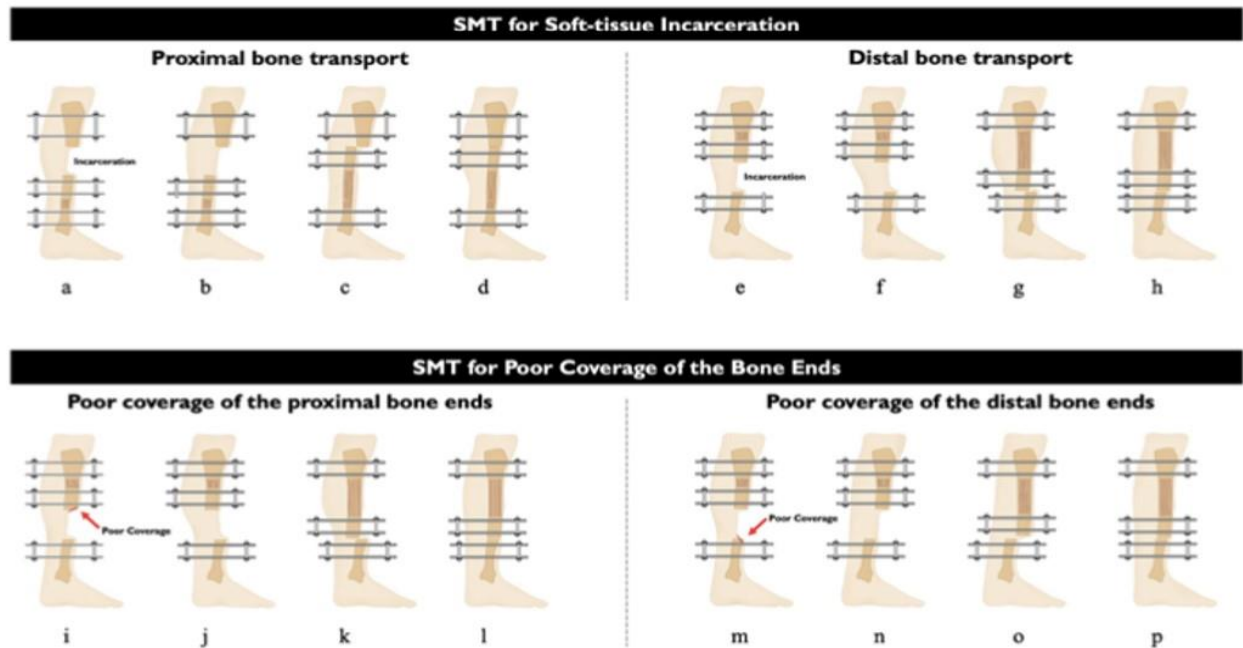
Nota: (a) y (b) Imágenes que demuestran la encarcelación del tejido blando (SICT). La herida es cerrada lo antes posible, sin considerar la pérdida ósea. (c) y (d) Imágenes clínicas del método de SICT aplicado en un paciente de 23 años. (e) y (f) Imágenes clínicas aplicadas en un paciente de 54 años.

Fuente: Li, Chen et al. (2021).

Técnica de dilatación con balón. En la última fase de un transporte óseo o después de una encarcelación, se puede colocar un balón a nivel del defecto óseo, con el fin de generar una dilatación del tejido blando que se encuentra con una contractura, el cual se llena con solución salina dos veces por semana, con 10 ml en cada momento. Conforme el transporte va ocurriendo, se comprime el balón y genera expansión del tejido blando. Luego, se hace retiro de forma quirúrgica de este (Li, Chen et al., 2021).

Técnica del submarino. Con esta técnica se busca realizar un movimiento dorsal o ventral de uno de los extremos del defecto, con el fin de disminuir la tensión sobre el tejido blando (Li, Chen et al., 2021).

Figura 17. Imágenes para demostrar la técnica de submarino (SMT)



Nota: técnica de submarino (SMT) aplicada en casos de encarcelación de los tejidos blandos o por pobre cobertura del hueso a nivel de los extremos en un transporte óseo. (a) y (b) Cuando se realiza un transporte, y un extremo de la tibia pierda su eje, el extremo distal de la tibia se moviliza hacia dorsal, mediante el ajuste del fijador externo, para buscar que los extremos del hueso terminen el transporte debajo de la zona de la encarcelación, y una vez que se haya pasado la zona de la invaginación, se corrige el eje. (e) a (h) En cambio, los pacientes a los que se les aplica un transporte proximal, la porción distal es desplazada hacia ventral y luego se reposiciona hacia dorsal. (i) a (l) Cuando la porción proximal está descubierta o pobremente cubierta, no importa cuál extremo se vaya a transportar, la porción distal se mueve ventral primero y luego dorsal. (m) a (p) Cuando hay pobre cobertura a nivel del extremo distal, la porción distal se recoloca hacia dorsal primero y de último ventral.

Fuente: Li, Chen et al. (2021).

Estas técnicas lo que buscan es demostrar una opción terapéutica en casos de lesiones de gran tamaño compuestas y no que se encuentre en oposición al uso de un colgajo cutáneo (Li, Chen et al., 2021).

Capítulo III. Conclusiones

Como se ha descrito, las fracturas expuestas son lesiones complejas como resultado de mecanismos de alta energía, relacionadas con una alta tasa de morbilidad y mortalidad. La clasificación de Gustilo-Anderson es la más utilizada para describirla, basándose, principalmente, en el tamaño, contaminación y daño de tejido blando. Las fracturas expuestas GIIIB se caracterizan por una pérdida importante de tejido blando, por ello, es importante aprender a manejarlas desde su evaluación inicial, así como tener presentes los diferentes manejos quirúrgicos, en términos de estabilidad mecánica a la fractura, como las opciones para una cobertura cutánea.

Se presenta una opción quirúrgica considerada poco frecuente, una deformidad intencional a nivel del foco de la fractura, para lograr el cierre primario de la piel, con los beneficios que esto conlleva, permitiéndole al organismo activar un proceso de cicatrización tanto en tejido blando como a nivel óseo. Procedimiento que está acompañado de una estabilidad por medio de fijadores externos, los cuales van a corregir de forma gradual la deformidad provocada.

Esta es una opción que ha demostrado tener buenos resultados y que permite recuperar el eje anatómico de la extremidad, una vez finalizado el proceso. Además de ser una alternativa para ofrecer en centros hospitalarios, donde no se cuenta con un especialista en cirugía reconstructiva. Todo con el fin de brindar una disyuntiva al paciente en este tipo de lesiones, antes de considerar un manejo más agresivo como lo es la amputación.

Bibliografía

- Adamczyk, A., Meulenkamp, B., Wilken, G., y Papp, S. (2020). Managing bone loss in open fractures. *OTA International: The Open Access Journal of Orthopaedic Trauma*, 3(1), e059. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000059>
- Águila-Ledesma, I. R., Medina-Rodríguez, F., Altamirano-Gutiérrez, L. M., Núñez-Gómez, D. A., Torres-González, R., y Pérez-Atanasio, J. M. (2019). Patrón de decisión quirúrgica en la prescripción de amputaciones con escala MESS en fracturas de tibia expuesta grado III-B Gustilo-Anderson. *Acta ortopedica mexicana*, 33(1), 2–7. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=86195>
- Ali, A., Aljawadi, A., Elkhidir, I. H., De-Shoulepnikoff, C., Pillai, A. (2023). Clinical and radiological outcomes of Gustilo-Anderson type IIIB open fractures in 125 patients. *Cureus*, 15(2), e35441. <https://doi.org/10.7759/cureus.35441>
- Bachmeier, A. T., Euler, E., Bader, R., Böcker, W., y Thaller, P. H. (2021). Novel method for determining bone dimensions relevant for longitudinal and transverse distraction osteogenesis and application in the human tibia and fibula. *Anatomischer Anzeiger [Annals of Anatomy]*, 234(151656), 151656. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151656>
- Bailey, C. M., Zeiderman, M. R., Asserson, D. B., Jairam, A. K., Little, C. J., Bascone, C. M., y Pu, L. L. (2022). Correlation of time to soft tissue coverage with clinical outcome in lower extremity trauma in the modern era: A singlecenter retrospective review. *Eplasty*, 22, eX.
- Beeharry, M. W., Walden-Smith, T., y Moqem, K. (2022). Limb salvage vs. Amputation: Factors influencing the decision-making process and outcomes for mangled extremity injuries. *Cureus*, 14(10), e30817. <https://doi.org/10.7759/cureus.30817>
- Blázquez-Carmona, P., Mora-Macías, J., Morgaz, J., Fernández-Sarmiento, J. A., Domínguez, J., y Reina-Romo, E. (2021). Mechanobiology of bone consolidation

during distraction osteogenesis: Bone lengthening vs. Bone transport. *Annals of Biomedical Engineering*, 49(4), 1209–1221.

Blázquez-Carmona, P., Mora-Macías, J., Sanz-Herrera, J. A., Morgaz, J., Navarrete-Calvo, R., Domínguez, J., y Reina-Romo, E. (2021). *Mechanical influence of surrounding soft tissue on bone regeneration processes: A bone lengthening study. Annals of Biomedical Engineering*, 49(2), 642–652. <https://doi.org/10.1007/s10439-020-02592-z>

Browner, B. D., Jupiter, J., Krettek, C., y Anderson, P. A. (2019). *Skeletal Trauma E-Book: Basic Science, Management, and Reconstruction* (6a ed.). Elsevier.

Burt, K. E., Badash, I., Leland, H. A., Gould, D. J., Rounds, A. D., Patel, K. M., y Carey, J. N. (2020). The efficacy of negative pressure wound therapy and antibiotic beads in lower extremity salvage. *The Journal of Surgical Research*, 247, 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.09.055>

Cao, Z., Li, C., He, J., Qing, L., Yu, F., Wu, P., y Tang, J. (2022). Early reconstruction delivered better outcomes for severe open fracture of lower extremities: A 15-year retrospective study. *Journal of Clinical Medicine*, 11(23), 7174. <https://doi.org/10.3390/jcm11237174>

Ferreira, N., Sabharwal, S., Hosny, G. A., Sharma, H., Johari, A., Nandalan, V. P., Vivas, M., Parihar, M., Nayagam, S., Ferguson, D., y Rölfing, J. D. (2021). Limb reconstruction in a resource-limited environment. *SICOT-J*, 7, 66. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2021066>

Hernández-Irizarry, R., Quinnan, S. M., Reid, J. S., Toney, C. B., Rozbruch, S. R., Lezak, B., y Fragomen, A. T. (2021). Intentional temporary limb deformation for closure of soft-tissue defects in open tibial fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 35(6), e189–e194. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001988>

Jones, C. M., Roberts, J. M., Sirlin, E. A., Cavanaugh, G. A., Anagnostakos, J. P., Hauck, R. M., y Spence Reid, J. (2021). Acute limb shortening or creation of an intentional

- deformity to aid in soft tissue closure for IIIB/IIIC open tibia fractures. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery: JPRAS*, 74(11), 2933–2940. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2021.03.105>
- Kouzelis, A., Vrachnis, I. N., Vris, A., Zampakis, P., Kokkalis, Z. T., y Panagopoulos, A. (2020). A novel treatment of a 65-year-old woman with a neglected type IIIB open fracture of the tibia with inadequate soft tissue coverage and periosteal stripping requiring an Ilizarov approach to bone and soft tissue lengthening and reconstruction: A case report and review of the literature. *The American Journal of Case Reports*, 21, e926622. <https://doi.org/10.12659/AJCR.926622>
- Li, R., Zeng, C., Yuan, S., Chen, Y., Zhao, S., y Ren, G.-H. (2021). Free flap transplantation combined with Ilizarov bone transport for the treatment of severe composite tibial and soft tissue defects. *The Journal of International Medical Research*, 49(5), 3000605211017618. <https://doi.org/10.1177/03000605211017618>
- Li, R., Zhu, G., Chen, C., Chen, Y., y Ren, G. (2020). Bone transport for treatment of traumatic composite tibial bone and soft tissue defects: Any specific needs besides the Ilizarov technique? *BioMed Research International*, 2020, 2716547. <https://doi.org/10.1155/2020/2716547>
- Li, Y., Chen, Y., Gan, T., Qin, B., Liu, X., y Zhang, H. (2021). An alternative therapeutic strategy for infected large bone defect and massive soft-tissue loss of leg-is free flap reconstruction inevitable? *International Orthopaedics*, 45(12), 3033–3043. <https://doi.org/10.1007/s00264-02105154-7>
- Liu, Q., Liu, Z., Guo, H., Liang, J., y Zhang, Y. (2022). The progress in quantitative evaluation of callus during distraction osteogenesis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23(1), 490. <https://doi.org/10.1186/s12891-02205458-8>
- Liu, X., Zhang, H., Cen, S., y Huang, F. (2018). Negative pressure wound therapy versus conventional wound dressings in treatment of open fractures: A systematic review

- and meta-analysis. *International Journal of Surgery (London, England)*, 53, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2018.02.064>
- Menon, S. N., y Flegg, J. A. (2021). Mathematical modeling can advance wound healing research. *Advances in Wound Care*, 10(6), 328–344. <https://doi.org/10.1089/wound.2019.1132>
- Nie, P., y Zhang, C. (2022). Effect of vacuum sealing drainage on soft tissue injury of traumatic fracture and its effect on wound recovery. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, 2022, 7107090. <https://doi.org/10.1155/2022/7107090>
- O'Farrell, P., Barnard, A.-C., & Birkholtz, F. (2018e). The tibial bayonet method of wound closure. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, 13(2), 103–108. <https://doi.org/10.1007/s11751-018-0304-3>
- Oliveira, R. V., Cruz, L. P., & Matos, M. A. (2018). Comparative accuracy assessment of the Gustilo and Tscherne classification systems as predictors of infection in open fractures. *Revista Brasileira de Ortopedia*, 53(3), 314–318. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2018.03.005>
- Omar, M., Zeckey, C., Krettek, C., y Graulich, T. (2021). Open fractures. *Der Unfallchirurg*, 124(8), 651–665. <https://doi.org/10.1007/s00113-021-01042-2>
- Pierrie, S. N., y Hsu, J. R. (2017). Shortening and angulation strategies to address composite bone and soft tissue defects. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 31(5), S32–S35. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000976>
- Plotnikovs, K., Movcans, J., y Solomin, L. (2022). Acute shortening for Open Tibial Fractures with Bone and Soft Tissue Defects: Systematic review of Literature. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, 17(1), 44–54. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10080-1551>
- Plotnikovs, K., Ribakovs, O., Movcans, J., Pasters, V., y Solomin, L. N. (2022). A 52-year-old man with a Gustillo-Anderson IIIB open tibial shaft fracture with extensive soft-

- tissue defect requiring limb salvage with artificial deformity-creating technique. *The American Journal of Case Reports*, 23, e934788. <https://doi.org/10.12659/AJCR.934788>
- Rupp, M., Popp, D., & Alt, V. (2020). Prevention of infection in open fractures: Where are the pendulums now? *Injury*, 51 Suppl 2, S57–S63. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.10.074>
- Salih, S., Mills, E., McGregor-Riley, J., Dennison, M., y Royston, S. (2018). Transverse debridement and acute shortening followed by distraction histogenesis in the treatment of open tibial fractures with bone and soft tissue loss. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, 13(3), 129–135. <https://doi.org/10.1007/s11751-018-0316-z>
- Southam, B. R., y Archdeacon, M. T. (2017). “iatrogenic” segmental defect: How I debride high-energy open tibial fractures: How I debride high-energy open tibial fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 31(5), S9–S15. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000984>
- Toogood, P., y Miclau, T. (2017). Critical-sized bone defects: Sequence and planning: Sequence and planning. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 31(5), S23–S26. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000980>
- Ugaji, S., Matsubara, H., Aikawa, T., y Tsuchiya, H. (2022). Efficacy of Temporary Intentional Leg Shortening and deformation for treatment of Massive Bone and Soft Tissue Defects in Three Patients. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, 17(3), 195–201. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10080-1567>
- Wang, P.H., Huang, B.S., Horng, H.C., Yeh, C.C., y Chen, Y.J. (2018). Wound healing. *Journal of the Chinese Medical Association: JCMA*, 81(2), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcma.2017.11.002>
- Watts, A., Sadekar, V., Moulder, E., Souroullas, P., Hadland, Y., Barron, E., Muir, R., y Sharma, H. (2023). A comparative evaluation of the time to frame removal for tibia

fractures treated with hexapod and Ilizarov circular frames. *Injury*, 54(3), 996–1003.
<https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.12.027>

Xu, Y.Q., Fan, X.Y., He, X.Q., y Wen, H.J. (2021). Reconstruction of massive tibial bone and soft tissue defects by trifocal bone transport combined with soft tissue distraction: experience from 31 cases. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22(1), 34.
<https://doi.org/10.1186/s12891-020-03894-y>

Yang, S., Wang, N., Ma, Y., Guo, S., Guo, S., y Sun, H. (2022). Immunomodulatory effects and mechanisms of distraction osteogenesis. *International Journal of Oral Science*, 14(1), 4. <https://doi.org/10.1038/s41368-021-00156-y>