

Factores de riesgo asociados a infecciones después de osteosíntesis de fracturas de huesos largos.

Risk factors associated with infections after osteosynthesis of long bone fractures.

Fatores de risco associados a infecções após osteossíntese de fraturas de ossos longos.

Erik Fabrizio Noriega Moreno
Universidad Católica Santiago de Guayaquil
Médico general.
Ecuador
medicina y salud
erik.noriega@cu.ucsg.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-5318-3236>

Forma de citación en APA, séptima edición.

Noriega, E. (2026). *Factores de riesgo asociados a infecciones después de osteosíntesis de fracturas de huesos largos*. Revista Ibero Research, 1(7), 41 – 78.

Fecha de presentación: 30/08/2026

Fecha de aceptación: 01/09/2026

Fecha de publicación: 02/09/2026

Resumen

Las infecciones posteriores a la osteosíntesis de fracturas de huesos largos representan una complicación clínica capaz de comprometer la consolidación, la estabilidad del implante y la recuperación funcional, con un origen multifactorial vinculado al huésped, la gravedad de la lesión y el tratamiento. El objetivo consistió en identificar y sintetizar los principales factores de riesgo asociados con infección después de la fijación quirúrgica. Se desarrolló una revisión sistemática con síntesis narrativa conforme a PRISMA 2020, orientada principalmente a PubMed/MEDLINE y literatura especializada, con inclusión de estudios observacionales, revisiones sistemáticas y metaanálisis en población adulta. La evidencia mostró asociaciones consistentes con fractura abierta, lesión extensa de tejidos blandos, mayor grado Gustilo-Anderson, tabaquismo, diabetes mellitus, ASA elevado, politraumatismo, traumatismo de alta energía, síndrome compartimental, fijación externa, transfusión sanguínea y procedimientos prolongados. En fracturas tibiales se añadieron asociaciones con doble incisión y sexo masculino. El riesgo debe interpretarse de forma individual, diferenciando factores potencialmente modificables de marcadores de gravedad, con prevención preoperatoria, intraoperatoria y vigilancia posoperatoria.

Palabras clave: infección relacionada con fractura; fijación interna; tabaquismo; diabetes mellitus; prevención perioperatoria.

Abstract

Infections after osteosynthesis of long bone fractures are a clinical complication that can compromise fracture healing, implant stability, and functional recovery, with a multifactorial origin related to host characteristics, injury severity, and treatment. The objective was to identify and synthesize the main risk factors associated with infection after surgical fracture fixation. A systematic review with narrative synthesis was conducted following PRISMA 2020 principles, mainly oriented to PubMed/MEDLINE and specialized literature, including observational studies, systematic reviews, and meta-analyses in adults. The evidence showed consistent associations with open fracture, extensive soft-tissue injury, higher Gustilo-Anderson grade, smoking, diabetes mellitus, higher ASA classification, polytrauma, high-energy trauma, compartment syndrome, external fixation, blood transfusion, and prolonged procedures. In tibial fractures, double-incision approaches and male sex were also reported as associated factors. Risk should be interpreted individually, distinguishing potentially modifiable factors from markers of injury severity, with prevention extending from preoperative assessment to intraoperative management and postoperative surveillance.

Keywords: fracture-related infection; internal fixation; smoking; diabetes mellitus; perioperative prevention.

Resumo

As infecções após a osteossíntese de fraturas de ossos longos constituem uma complicação clínica capaz de comprometer a consolidação, a estabilidade do implante e a recuperação funcional, com origem multifatorial relacionada ao hospedeiro, à gravidade da lesão e ao tratamento. O objetivo foi identificar e sintetizar os principais fatores de risco associados à infecção após a fixação cirúrgica. Foi realizada uma revisão sistemática com síntese narrativa segundo os princípios do PRISMA 2020, orientada principalmente ao PubMed/MEDLINE e à literatura especializada, incluindo estudos observacionais, revisões sistemáticas e metanálises em adultos. A evidência mostrou associações consistentes com fratura exposta, lesão extensa de tecidos moles, maior grau de Gustilo-Anderson, tabagismo, diabetes mellitus, ASA elevado, politrauma, trauma de alta energia, síndrome compartimental, fixação externa, transfusão sanguínea e procedimentos prolongados. Em fraturas tibiais, também foram descritas associações com dupla incisão e sexo masculino. O risco deve ser interpretado individualmente, distinguindo fatores potencialmente modificáveis de marcadores de gravidade, com prevenção pré-operatória, intraoperatória e vigilância pós-operatória.

Palavras-chave: infecção relacionada à fratura; fixação interna; tabagismo; diabetes mellitus; prevenção perioperatória.

Introducción

Las fracturas de huesos largos constituyen lesiones de elevada relevancia clínica por su capacidad de comprometer la movilidad, la autonomía y la función del segmento afectado, además de generar necesidades de atención quirúrgica, rehabilitación y seguimiento prolongado; dentro de este escenario, la osteosíntesis mediante placas, tornillos, clavos intramedulares u otros sistemas de fijación permite restituir estabilidad mecánica y favorecer la consolidación, aunque la implantación de material y la exposición quirúrgica introducen un riesgo infeccioso que adquiere especial importancia cuando existen contaminación, exposición ósea o daño extenso de tejidos blandos [10].

La infección posterior a la fijación de una fractura no debe reducirse a una alteración superficial de la herida quirúrgica, porque puede involucrar simultáneamente el hueso, los tejidos blandos y el material de osteosíntesis, modificar la estabilidad del foco de fractura y prolongar el curso terapéutico; sus consecuencias clínicas incluyen retraso de la consolidación, pseudoartrosis, pérdida de estabilidad, necesidad de nuevas intervenciones, deterioro funcional y, en situaciones graves, amputación, de modo que su prevención y reconocimiento temprano forman parte central del manejo traumatológico.

El concepto de infección relacionada con la fractura, denominado fracture-related infection o FRI en la literatura internacional, amplió el marco clásico de infección del sitio quirúrgico al establecer criterios confirmatorios específicos; entre ellos se reconocen la presencia de fístula, seno o dehiscencia con comunicación hacia el hueso o el implante, drenaje purulento, aislamiento del mismo microorganismo en múltiples muestras profundas independientes o identificación histopatológica de microorganismos en tejido profundo, criterios desarrollados por consensos internacionales para mejorar la uniformidad diagnóstica [6,7].

La relevancia del material de osteosíntesis se relaciona también con la posibilidad de formación de biofilm, fenómeno que favorece la persistencia de microorganismos adheridos a superficies metálicas y dificulta su erradicación mediante antimicrobianos aislados; la literatura de consenso incorporada en la investigación de base plantea que el tratamiento de la FRI requiere integrar la condición del implante, la estabilidad de la fractura, el estado de los tejidos blandos, los hallazgos microbiológicos y la necesidad de estrategias quirúrgicas y antimicrobianas coordinadas [8,9].

El riesgo de infección no depende exclusivamente de una técnica quirúrgica particular, ya que la evidencia sintetizada muestra una interacción entre factores propios del huésped, características del traumatismo, daño de tejidos blandos y variables perioperatorias; diabetes mellitus, tabaquismo, estado fisiológico desfavorable, fractura abierta, mayor clasificación Gustilo-Anderson, politraumatismo, trauma de alta energía, síndrome compartimental, necesidad de fijación externa, transfusión y procedimientos prolongados aparecen de manera reiterada como variables asociadas, aunque su papel causal no es equivalente en todos los contextos.

Entre los factores relacionados con el paciente, la diabetes mellitus ocupa una posición relevante por la asociación descrita con complicaciones infecciosas y por los mecanismos biológicos consignados en la investigación, entre ellos alteración de la función leucocitaria, deterioro de la respuesta inmunitaria, compromiso de la microcirculación y dificultades de cicatrización; esta condición adquiere interés preventivo porque la evaluación metabólica preoperatoria permite reconocer un componente sistémico que puede coexistir con una lesión traumatológica compleja y aumentar la vulnerabilidad del huésped [1].

El tabaquismo representa otro componente de interés por su carácter potencialmente modificable, dado que la nicotina y otros componentes del humo pueden inducir

vasoconstricción, alterar la oxigenación tisular y afectar la reparación de los tejidos; su asociación con mayor frecuencia de infección después de la fijación de fracturas se mantiene tanto en la revisión de fracturas abiertas como en la síntesis específica de fracturas tibiales, lo que justifica incorporarlo de forma sistemática en la valoración de riesgo y en las medidas de optimización preoperatoria [1,2].

El estado general del paciente se refleja parcialmente mediante la clasificación de la American Society of Anesthesiologists, utilizada como indicador de carga de comorbilidad y condición fisiológica; la revisión sobre infecciones tibiales identificó asociación entre ASA superior a 2 e infección, mientras que la cohorte multicéntrica citada también señaló un ASA elevado entre los factores independientes, de manera que la valoración integral del huésped no debe limitarse a la presencia de una sola enfermedad sino considerar el contexto sistémico en el que se realiza la fijación [2,3].

Las características de la fractura adquieren un peso particular en la estratificación, especialmente cuando existe comunicación con el ambiente externo; la fractura abierta combina contaminación bacteriana, destrucción de tejidos blandos y pérdida de cobertura, condiciones que incrementan la dificultad de control local y que pueden acompañarse de exposición ósea, necesidad de desbridamientos y estrategias escalonadas de estabilización, por lo que la evidencia sobre fracturas abiertas la sitúa entre los factores con asociación más consistente con infección [1].

La clasificación Gustilo-Anderson permite expresar parte de la gravedad de las fracturas abiertas y del compromiso de tejidos blandos, de modo que los grados superiores, particularmente las lesiones de mayor severidad, reflejan una combinación de destrucción tisular, contaminación y exposición ósea más marcada; la síntesis específica de fracturas tibiales confirmó la asociación entre grados Gustilo-Anderson elevados e

infección, lo que refuerza la necesidad de interpretar la clasificación no como un dato aislado sino como una representación clínica de la magnitud del daño [2].

Los traumatismos de alta energía y el politraumatismo constituyen asimismo escenarios de mayor complejidad, porque pueden asociarse con destrucción tisular extensa, lesión vascular, contaminación, inestabilidad fisiológica, transfusiones y procedimientos múltiples; en este contexto, la infección puede emerger de la acumulación de exposiciones y no de una sola variable, por lo que el análisis preventivo requiere reconocer que la lesión grave modifica simultáneamente las condiciones locales y sistémicas del paciente [1-3].

Las variables relacionadas con el tratamiento aportan una dimensión adicional, dado que una duración quirúrgica igual o superior a 180 minutos fue identificada como factor independiente en la cohorte multicéntrica de Wang y colaboradores, mientras que la fijación externa, la transfusión sanguínea y el síndrome compartimental mostraron asociaciones relevantes en fracturas tibiales; sin embargo, la propia investigación advierte que estas variables pueden reflejar lesiones más graves y no deben interpretarse automáticamente como causas directas de infección [2,3].

La localización tibial merece atención particular dentro de la evidencia incluida, porque la revisión sistemática y metaanálisis de Niebuhr y colaboradores reunió 42 investigaciones y describió asociaciones con síndrome compartimental, transfusión, fractura abierta, mayor grado Gustilo-Anderson, fijación externa, ASA elevado, politrauma, abordajes con doble incisión, tabaquismo, sexo masculino y trauma de alta energía; esta amplitud de factores ilustra la complejidad del riesgo en un segmento anatómico donde el estado de los tejidos blandos resulta determinante [2].

La cohorte multicéntrica publicada en 2025 aportó otra perspectiva al informar una incidencia aproximada de 1,7 % de infección después de la fijación de fracturas y

señalar como factores independientes distintas categorías de índice de masa corporal, tabaquismo, ASA elevado, traumatismo de alta energía, diabetes, fractura abierta, duración quirúrgica igual o superior a 180 minutos y otros factores perioperatorios; además, *Staphylococcus aureus* fue el microorganismo predominante entre los casos de infección [3].

La bibliografía incorporada al documento fuente abarca, además, trabajos centrados en fracturas de tobillo, meseta tibial, clavos intramedulares en tibia abierta, fracturas de tobillo, meseta tibial y clavos intramedulares en tibia abierta, lo que permite situar la pregunta clínica en diferentes escenarios de fijación sin asumir que todos los resultados sean directamente intercambiables; la diversidad anatómica y metodológica de esos antecedentes contribuye precisamente a la heterogeneidad que justificó una síntesis narrativa en lugar de un metaanálisis propio [12-15].

El vacío de conocimiento abordado se relaciona con la necesidad de integrar factores procedentes de niveles distintos de la atención, porque una lectura fragmentada puede sobrevalorar una exposición aislada y omitir la interacción entre huésped, lesión y procedimiento; una síntesis organizada permite reconocer qué variables aparecen de manera más consistente, cuáles son potencialmente modificables, cuáles funcionan principalmente como marcadores de gravedad y en qué momentos del proceso asistencial pueden aplicarse medidas preventivas.

El objetivo general consistió en identificar y sintetizar los principales factores de riesgo asociados con la aparición de infección después de la osteosíntesis de fracturas de huesos largos, considerando factores relacionados con el paciente, la fractura, los tejidos blandos y el tratamiento quirúrgico; la fuente original no formuló objetivos específicos independientes ni una hipótesis causal, por lo que la organización analítica se mantuvo

mediante categorías de evidencia sin agregar objetivos o supuestos que no estuvieran expresamente sustentados.

Metodología

Se desarrolló una revisión sistemática de la literatura con síntesis narrativa, estructurada de acuerdo con los principios de PRISMA 2020, con el propósito de organizar de manera transparente la identificación, selección, evaluación y síntesis de la evidencia disponible; el diseño no correspondió a una investigación clínica primaria, por lo que no existió reclutamiento directo de participantes, intervención experimental ni seguimiento prospectivo de una cohorte propia, y la unidad de análisis estuvo constituida por publicaciones científicas relacionadas con infección posterior a la fijación de fracturas [4,5].

No se efectuó un metaanálisis propio debido a la heterogeneidad existente entre las poblaciones estudiadas, los tipos y localizaciones de fractura, las definiciones de infección utilizadas, las técnicas de fijación, los periodos de seguimiento y las medidas de asociación reportadas; esta decisión metodológica se mantuvo porque una combinación cuantitativa sin homogeneidad suficiente podía transmitir una precisión aparente que no estaba respaldada por la fuente, por lo que se priorizó una lectura comparativa y categorial de los factores descritos.

El enfoque de la revisión fue analítico y descriptivo, orientado a identificar patrones de asociación y a diferenciar factores del huésped, características de la fractura, condiciones de tejidos blandos y variables relacionadas con el tratamiento; la síntesis narrativa permitió discutir la consistencia de los hallazgos, su plausibilidad clínica y las precauciones necesarias para no confundir marcadores de gravedad con factores

causales, sin transformar asociaciones observacionales en relaciones de causalidad no demostradas.

La pregunta de investigación fue: ¿Cuáles son los principales factores de riesgo asociados con el desarrollo de infección después de la osteosíntesis de fracturas de huesos largos?, interrogante que delimitó el desenlace de interés y permitió organizar la revisión alrededor de exposiciones clínicas, traumáticas y terapéuticas relevantes, manteniendo como eje la infección relacionada con la fractura o la infección del sitio quirúrgico posterior a osteosíntesis.

Se utilizó una estructura PICO adaptada en la que la población correspondió a pacientes adultos con fracturas de huesos largos, la intervención o exposición se definió como la presencia de factores de riesgo relacionados con el paciente, la lesión o el tratamiento, el comparador estuvo constituido por pacientes sin el factor evaluado y el desenlace fue la infección relacionada con la fractura o la infección del sitio quirúrgico después de la fijación; la adaptación respondió a la naturaleza observacional de gran parte de la evidencia y no implicó una intervención experimental.

La búsqueda se orientó principalmente a PubMed/MEDLINE y se complementó con literatura científica especializada en traumatología y ortopedia, con prioridad para revisiones sistemáticas, metaanálisis, estudios observacionales y cohortes con análisis multivariable; la estrategia disponible no registró fechas exactas de ejecución para cada consulta ni una cadena reproducible completa por plataforma, circunstancia que se consideró al valorar la reproducibilidad metodológica y el alcance de la síntesis.

La estrategia conceptual combinó los términos “fracture-related infection”, “surgical site infection”, “osteosynthesis”, “internal fixation”, “long bone fracture”, “risk factors”, “infection after fracture fixation”, “tibial fracture” y “open fracture”, vocabulario que permitió abarcar el concepto contemporáneo de infección relacionada con fractura, la

terminología de infección del sitio quirúrgico y las principales modalidades de fijación; la síntesis se mantuvo dentro de los descriptores y criterios de selección documentados.

La selección de fuentes priorizó evidencia capaz de aportar información sobre asociaciones y factores de riesgo, por lo que los metaanálisis y revisiones sistemáticas tuvieron utilidad para identificar patrones repetidos entre estudios, mientras que las cohortes con análisis multivariable permitieron considerar variables independientes en poblaciones específicas; la revisión también incorporó documentos de consenso sobre definición, diagnóstico y tratamiento de FRI para sostener el marco conceptual y evitar una interpretación limitada a la infección superficial de la herida [4-9].

Los criterios de inclusión comprendieron estudios realizados en población adulta, investigaciones de pacientes sometidos a tratamiento quirúrgico de fracturas, trabajos centrados en fracturas de huesos largos, publicaciones que evaluaran infección como desenlace y estudios que identificaran factores de riesgo o variables asociadas; se consideraron revisiones sistemáticas, metaanálisis y estudios observacionales publicados en revistas científicas indexadas o en bases bibliográficas reconocidas, con el objetivo de mantener un nivel de evidencia compatible con la pregunta de investigación.

Los criterios de exclusión comprendieron estudios exclusivamente pediátricos, investigaciones centradas en prótesis articulares sin relación con fracturas, estudios experimentales en animales, comunicaciones sin información suficiente y publicaciones duplicadas; estos criterios permitieron conservar el foco en osteosíntesis por fractura y evitar la mezcla con infecciones protésicas articulares, cuya fisiopatología, población y estrategias terapéuticas pueden compartir elementos con FRI pero corresponden a un campo clínico diferente.

Los factores identificados se organizaron en categorías relacionadas con el paciente, la fractura y los tejidos blandos, y el tratamiento quirúrgico, complementadas con una dimensión microbiológica y un apartado preventivo; dentro del huésped se incluyeron principalmente diabetes mellitus, tabaquismo y estado general expresado por la clasificación ASA, mientras que en la lesión se consideraron fractura abierta, gravedad según Gustilo-Anderson, traumatismo de alta energía y politraumatismo.

En el componente terapéutico se sintetizaron la duración de la intervención, la necesidad de fijación externa, el síndrome compartimental y la transfusión sanguínea, manteniendo la precaución interpretativa de que algunas exposiciones pueden estar vinculadas a la gravedad basal de la lesión; en el componente microbiológico se recogió el predominio de *Staphylococcus aureus* descrito en la cohorte multicéntrica y la relevancia del biofilm como mecanismo de persistencia sobre superficies implantadas [3,6-11].

El procesamiento de la información se realizó mediante síntesis narrativa y comparación cualitativa de hallazgos, sin que la fuente original reportara software estadístico o bibliográfico específico, cálculo de tamaños de efecto combinados, pruebas de heterogeneidad, metarregresión o análisis de sensibilidad propios; en consecuencia, no se añadieron valores *p*, intervalos de confianza, odds ratios, riesgos relativos ni estimaciones numéricas que no estuvieran consignadas en la investigación base.

La revisión se estructuró conforme a PRISMA 2020; los registros disponibles no incluyeron recuentos completos de referencias identificadas, duplicados eliminados, textos evaluados ni estudios finalmente incluidos, por lo que el flujo de selección se describió de manera narrativa sin atribuir cantidades no documentadas. Esta característica limita la reproducibilidad del proceso de selección y debe considerarse al interpretar el alcance de la síntesis [4,5].

No se reportó una evaluación formal del riesgo de sesgo mediante una herramienta específica para estudios observacionales o revisiones, lo que limita la capacidad de graduar la certeza de cada asociación; en consecuencia, la interpretación se apoyó en la consistencia narrativa y en la convergencia de resultados entre fuentes, diferenciando la presencia de una asociación de la fuerza causal que requeriría evaluación metodológica estructurada.

Por tratarse de una revisión de literatura publicada, no existió intervención directa sobre pacientes ni recolección primaria de datos clínicos; la fuente no registró aprobación de comité de ética, número de protocolo o consentimiento informado, aspectos que no corresponden de la misma forma que en una investigación clínica primaria. La integridad científica se sustentó en la preservación de los datos reportados, la trazabilidad de las citas y la diferenciación entre evidencia publicada e interpretación clínica.

Resultados

La evidencia revisada mostró que la infección posterior a la osteosíntesis de fracturas de huesos largos corresponde a un fenómeno multifactorial, en el que las asociaciones más consistentes se distribuyen entre características del huésped, gravedad de la fractura y de los tejidos blandos, condición sistémica del paciente y complejidad del tratamiento; no se identificó un único predictor capaz de explicar por sí solo el desenlace, por lo que la lectura de los resultados requiere considerar acumulación e interacción de exposiciones.

Las fuentes de mayor peso dentro de la síntesis incluyeron un metaanálisis sobre fracturas abiertas, una revisión sistemática y metaanálisis específica para infecciones tibiales y una cohorte multicéntrica sobre infección posterior a la fijación de fracturas;

estas publicaciones aportaron información complementaria, ya que la primera enfatizó factores de huésped y gravedad en fracturas abiertas, la segunda reunió 42 investigaciones tibiales y la tercera informó una incidencia aproximada de 1,7 % junto con factores independientes y datos microbiológicos [1-3].

Antes de detallar los factores por categoría, la Tabla 1 resume únicamente los datos explícitos disponibles en las fuentes principales descritas por la investigación, con el propósito de separar los resultados realmente documentados de cualquier estimación que no forme parte del material original.

Tabla 1. Síntesis de las principales fuentes de evidencia y datos explícitamente reportados

Fuente	Diseño o alcance	Dato cuantitativo disponible en la investigación	Hallazgos sintetizados
Kortram et al. [1]	Revisión sistemática y metaanálisis de fracturas abiertas	Número de estudios no reportado en la síntesis disponible.	Asociaciones con sexo masculino, diabetes, tabaquismo, fracturas de miembros inferiores, Gustilo III, contaminación y politraumatismo.
Niebuhr et al. [2]	Revisión sistemática y metaanálisis de infecciones tibiales	42 investigaciones.	Síndrome compartimental, transfusión, fractura abierta, mayor Gustilo-Anderson, fijación externa, ASA elevado, politrauma, doble incisión, tabaquismo, sexo masculino y trauma de alta energía.
Wang et al. [3]	Cohorte multicéntrica de infección tras fijación de fracturas	Incidencia aproximada de 1,7 %; duración quirúrgica ≥ 180 minutos como factor independiente.	Categorías de IMC, tabaquismo, ASA elevado, trauma de alta energía, diabetes, fractura abierta y variables perioperatorias; Staphylococcus aureus predominante.
PRISMA 2020 [4,5]	Guía de reporte para revisiones sistemáticas	No corresponde a un estudio de incidencia o asociación.	Marco de transparencia para identificación, selección, evaluación y síntesis de evidencia.

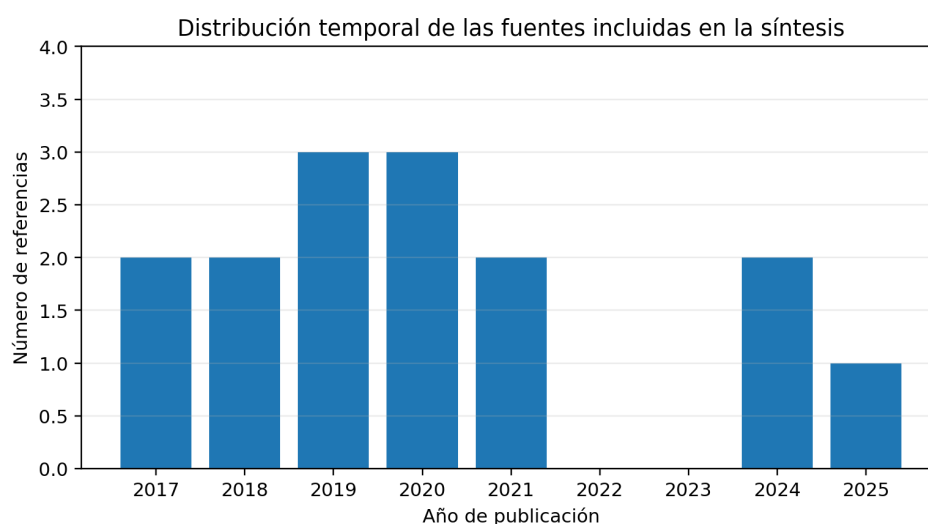
Nota. Elaboración a partir de la información expresamente descrita en el documento fuente; no se añadieron tamaños de efecto, intervalos de confianza ni cifras ausentes.

La tabla evidencia que los datos cuantitativos disponibles son limitados y se concentran en el número de investigaciones incluidas en la revisión tibial, la incidencia aproximada informada por la cohorte multicéntrica y el umbral de duración quirúrgica señalado por

ese mismo estudio; por ello, la síntesis se apoya principalmente en la consistencia cualitativa de asociaciones y no en una comparación numérica entre tamaños de efecto.

La distribución temporal de las fuentes permite observar la concentración cronológica de la evidencia utilizada en la síntesis y contextualizar la combinación de estudios clásicos con publicaciones recientes; el recuento se construyó exclusivamente a partir de las quince referencias incluidas en la versión final, sin convertir el año de publicación en un indicador de calidad metodológica.

Gráfico 1. Distribución temporal de las fuentes incluidas en la síntesis



Fuente: Elaboración a partir de las referencias 1-15.

El patrón temporal muestra una concentración de publicaciones entre 2019 y 2021, seguida de nuevas aportaciones en 2024 y 2025; esta distribución evidencia que el marco conceptual de infección relacionada con fractura se apoya en consensos y revisiones previas, mientras que la actualización del perfil de riesgo incorpora metaanálisis y cohortes recientes, por lo que la interpretación combina continuidad conceptual y evidencia contemporánea.

La diabetes mellitus se identificó como uno de los factores sistémicos más recurrentes, con asociación significativa en el metaanálisis de fracturas abiertas y presencia entre las variables independientes de la cohorte multicéntrica; el documento relaciona esta vulnerabilidad con alteraciones de la función leucocitaria, reducción de la respuesta

inmunitaria, compromiso de la microcirculación y deterioro de la cicatrización, elementos que pueden disminuir la capacidad del huésped para controlar una contaminación bacteriana en un entorno de trauma y material implantado [1,3].

El tabaquismo presentó una asociación repetida en diferentes niveles de evidencia y fue considerado un factor potencialmente modificable, ya que sus efectos sobre vasoconstricción, oxigenación tisular y reparación de tejidos pueden coincidir con una lesión local que ya presenta edema, contusión o pérdida de cobertura; su presencia en el metaanálisis de fracturas abiertas, en la revisión tibial y en la cohorte multicéntrica refuerza la utilidad de documentarlo como parte de la valoración preoperatoria [1-3].

La clasificación ASA elevada funcionó como indicador del estado general y de la carga de comorbilidad, con asociación entre ASA superior a 2 e infección en la revisión de fracturas tibiales y presencia del ASA elevado entre los factores independientes de la cohorte multicéntrica; el hallazgo sugiere que la valoración de riesgo debe incorporar el estado fisiológico global y no limitarse a la anatomía de la fractura, porque una lesión similar puede evolucionar de forma diferente según la reserva sistémica del paciente [2,3].

El índice de masa corporal apareció en la cohorte multicéntrica a través de diferentes categorías asociadas con infección, aunque la investigación base no proporcionó los puntos de corte, los tamaños de efecto ni una síntesis equivalente en las otras fuentes principales; por esa razón, se mantuvo como un hallazgo complementario y no se elevó al mismo nivel de consistencia que diabetes, tabaquismo o ASA, evitando extrapolar una relación cuantitativa que no estaba documentada [3].

El sexo masculino fue identificado como variable asociada tanto en la revisión de fracturas abiertas como en el metaanálisis tibial, pero la fuente no aportó una explicación causal ni datos suficientes para determinar si la asociación refleja patrones

de exposición al trauma, características clínicas o factores de confusión; en consecuencia, se conserva como un marcador epidemiológico reportado y no como una variable modificable sobre la que pueda plantearse una intervención preventiva directa [1,2].

La Tabla 2 organiza los factores del huésped según su carácter modificable y el tipo de interpretación permitida por la fuente, evitando asignar magnitudes de riesgo no disponibles en el documento original.

Tabla 2. Factores del huésped asociados con infección posterior a osteosíntesis

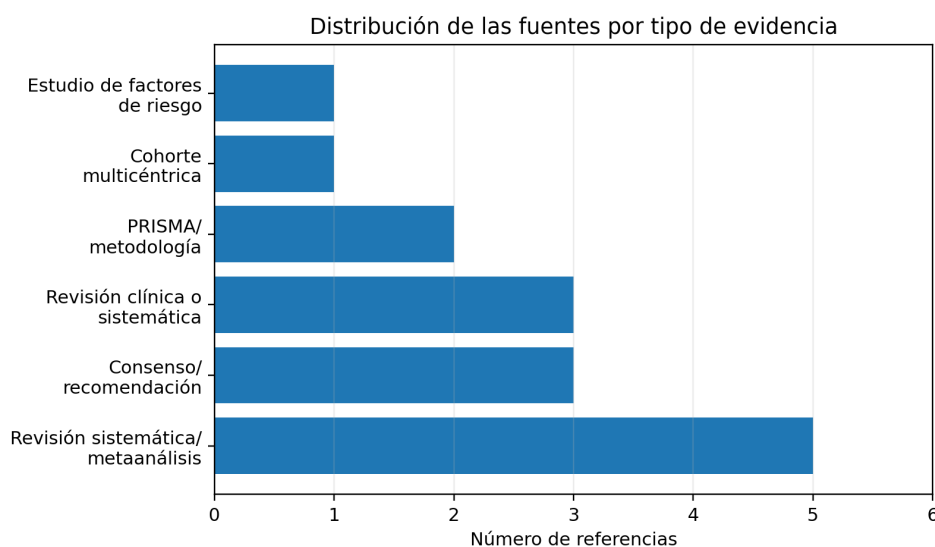
Factor	Evidencia descrita	Condición modificable	Interpretación sustentada
Diabetes mellitus	Asociación en fracturas abiertas y presencia entre factores independientes de cohorte multicéntrica [1,3].	Potencialmente optimizable mediante control metabólico.	Factor sistémico relevante para estratificación preoperatoria.
Tabaquismo	Asociación en fracturas abiertas, fracturas tibiales y cohorte multicéntrica [1-3].	Sí, potencialmente modificable.	Exposición prioritaria para prevención preoperatoria.
ASA elevado	ASA >2 asociado en revisión tibial; ASA elevado también señalado en cohorte multicéntrica [2,3].	No de forma directa; refleja comorbilidad y estado fisiológico.	Marcador de vulnerabilidad sistémica y necesidad de valoración integral.
Categorías de IMC	Señaladas como factores independientes en la cohorte multicéntrica [3].	Potencialmente modificable en determinados contextos.	Hallazgo complementario sin umbrales ni tamaños de efecto consignados.
Sexo masculino	Asociación reportada en fracturas abiertas y en revisión tibial [1,2].	No.	Marcador epidemiológico, sin atribución causal en la fuente.

Nota. La clasificación de modificabilidad corresponde a una interpretación clínica general de los factores descritos; no representa un tamaño de efecto ni una relación causal demostrada.

La síntesis del huésped muestra una diferencia relevante entre exposiciones potencialmente intervenibles y marcadores no modificables, ya que tabaquismo y control metabólico ofrecen oportunidades de optimización, mientras que sexo y ASA sirven principalmente para reconocer vulnerabilidad; esta distinción evita que la prevención se limite a enumerar factores y orienta la valoración hacia acciones concretas cuando la condición clínica permite modificarlas.

La diversidad metodológica de las fuentes se examinó para identificar qué tipos de evidencia sostienen los factores sintetizados, diferenciando revisiones sistemáticas y metaanálisis, consensos, documentos metodológicos, revisiones clínicas, cohortes y estudios de factores de riesgo; el gráfico representa el tipo de publicación de las referencias finales y no una jerarquía automática de validez.

Gráfico 2. Distribución de las fuentes por tipo de evidencia



Fuente: Elaboración a partir de las referencias 1-15.

La mayor proporción corresponde a revisiones sistemáticas y metaanálisis, acompañadas por documentos de consenso y revisiones clínicas que aportan definición, diagnóstico y principios terapéuticos; la presencia de una cohorte multicéntrica y de estudios específicos de factores de riesgo complementa la síntesis con datos observacionales, combinación pertinente para una pregunta centrada en asociaciones clínicas más que en eficacia de una intervención única.

La fractura abierta se situó entre los factores de asociación más consistente, debido a que establece comunicación entre el foco de fractura y el ambiente externo y puede acompañarse de contaminación bacteriana, destrucción de tejidos blandos y pérdida de cobertura; esta condición apareció tanto en el metaanálisis de fracturas abiertas como en

la revisión tibial y en la cohorte multicéntrica, lo que confirma su relevancia transversal dentro de poblaciones y diseños diferentes [1-3].

La gravedad según Gustilo-Anderson mostró un gradiente clínico en el que las lesiones de mayor grado se asociaron con mayor riesgo de infección, especialmente las fracturas Gustilo III y los grados superiores descritos en la revisión tibial; la interpretación debe vincularse con la magnitud de la lesión de tejidos blandos, la contaminación y la exposición ósea, porque la clasificación resume características que condicionan la posibilidad de cobertura, el manejo del foco y la necesidad de procedimientos sucesivos [1,2].

El daño de tejidos blandos funcionó como un componente transversal de la gravedad, aunque no siempre apareció expresado mediante una variable única; la destrucción tisular, la pérdida de cobertura, la lesión muscular, el edema y el compromiso vascular se relacionaron con escenarios como fractura abierta, Gustilo avanzado, trauma de alta energía y síndrome compartimental, por lo que la evaluación local del tejido adquiere un valor explicativo que complementa las categorías diagnósticas de la fractura.

El traumatismo de alta energía se asoció con infección en la cohorte multicéntrica y en la revisión tibial, y su relevancia se comprende por la posibilidad de producir destrucción extensa, lesión vascular, contaminación y politraumatismo; la variable no debe interpretarse únicamente como descripción del mecanismo, sino como un indicador clínico de la intensidad del daño que puede condicionar tanto el estado local del miembro como la complejidad del tratamiento requerido [2,3].

El politraumatismo se identificó de forma repetida en la literatura de fracturas abiertas y tibiales, con una combinación de lesión tisular, alteraciones fisiológicas, necesidad de transfusiones, procedimientos múltiples y estabilización temporal; su asociación con infección puede representar la acumulación de exposiciones sistémicas y locales, de

manera que la interpretación causal debe ser prudente y reconocer que la gravedad global del trauma puede confundir la relación entre una intervención específica y el desenlace [1,2].

El síndrome compartimental se destacó particularmente en la revisión tibial como marcador de lesión tisular, ya que puede implicar edema, compromiso vascular, daño muscular y necesidad de procedimientos adicionales; la fuente no lo presenta como un mecanismo infeccioso directo, sino como una condición que refleja mayor severidad del daño y que puede modificar el entorno biológico sobre el que se realiza la osteosíntesis [2].

La Tabla 3 sintetiza las variables de la lesión y los tejidos blandos que mostraron asociación en las fuentes principales, diferenciando su significado clínico de una interpretación causal directa.

Tabla 3. Factores relacionados con la fractura, la energía del trauma y los tejidos blandos

Factor	Base de asociación descrita	Componente clínico reflejado	Cautela interpretativa
Fractura abierta	Asociación consistente en las principales fuentes [1-3].	Contaminación, comunicación con el exterior, daño y pérdida de cobertura.	La gravedad varía según el grado de lesión y contaminación.
Gustilo-Anderson avanzado	Gustilo III y grados superiores asociados con infección [1,2].	Mayor destrucción de tejidos blandos, contaminación y exposición ósea.	La clasificación resume múltiples componentes de gravedad.
Trauma de alta energía	Asociación en revisión tibial y cohorte multicéntrica [2,3].	Mayor intensidad del daño, posible lesión vascular y politrauma.	Puede coexistir con múltiples factores de confusión.
Politraumatismo	Asociación en literatura de fracturas abiertas y tibiales [1,2].	Carga sistémica y local de lesión, procedimientos múltiples.	Puede actuar como marcador de severidad global.
Síndrome compartimental	Asociación relevante en fracturas tibiales [2].	Daño muscular, edema, compromiso vascular y procedimientos adicionales.	Se interpreta principalmente como marcador de lesión tisular grave.

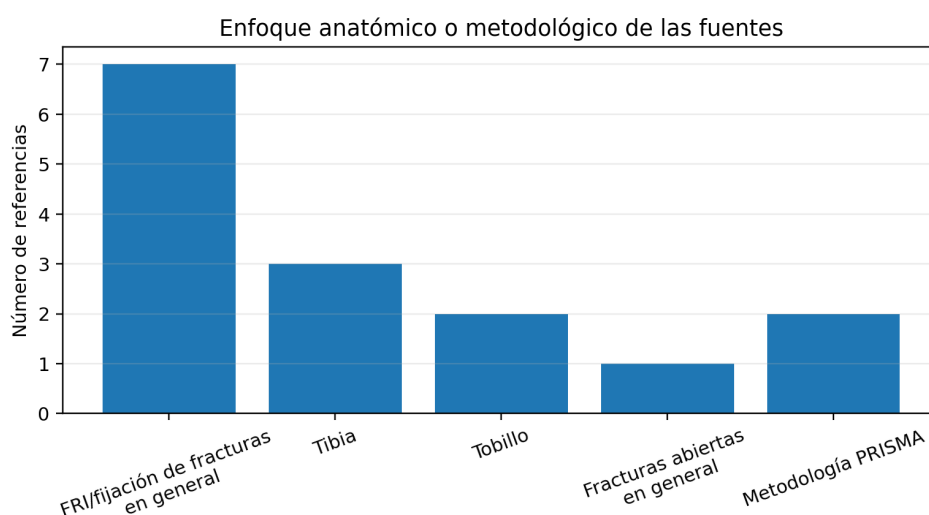
Nota. Síntesis basada en las asociaciones descritas en la investigación; no se asignaron porcentajes o probabilidades no disponibles.

Los resultados de esta categoría muestran que la anatomía de la fractura por sí sola no explica el riesgo, porque el estado de los tejidos blandos y la energía del mecanismo condicionan la exposición bacteriana, la posibilidad de cobertura y la complejidad de la

estabilización; por ello, la clasificación de la lesión debe integrarse con una valoración local detallada y con el contexto sistémico del trauma.

El enfoque anatómico y metodológico de las publicaciones se organizó para valorar hasta qué punto la evidencia procede de fracturas de huesos largos en general o de localizaciones específicas; esta clasificación se basó en el objeto explícito de cada referencia y permite visualizar la contribución de tibia, tobillo, fracturas abiertas, infección relacionada con fractura en general y documentos PRISMA.

Gráfico 3. Enfoque anatómico o metodológico de las fuentes incluidas



Fuente: Elaboración a partir de las referencias 1-15.

La mayor parte de las fuentes aborda infección relacionada con fractura o fijación de fracturas de manera general, mientras que tibia y tobillo constituyen los focos anatómicos específicos más representados; esta composición explica parte de la heterogeneidad de la revisión y justifica evitar extrapolaciones directas entre localizaciones, debido a que el estado de tejidos blandos, la energía del trauma y las estrategias de fijación difieren entre segmentos.

La duración de la intervención se relacionó con infección en la cohorte multicéntrica, donde un tiempo quirúrgico igual o superior a 180 minutos fue identificado como factor independiente; los procedimientos prolongados pueden implicar mayor exposición de tejidos, pérdida sanguínea, manipulación quirúrgica y contaminación potencial, aunque

la fuente advierte que un tiempo mayor también puede reflejar fracturas más complejas y necesidades reconstructivas o de fijación más exigentes [3].

La fijación externa mostró asociación con infección en el metaanálisis de fracturas tibiales, pero su interpretación requiere cautela porque suele utilizarse en pacientes con mayor daño de tejidos blandos, fracturas abiertas o necesidad de estabilización temporal; por tanto, la asociación no permite concluir que el dispositivo externo provoque por sí mismo la infección, y puede existir confusión por indicación debido a la selección de casos más graves para este tipo de estrategia [2].

La transfusión sanguínea también fue asociada con infección en pacientes con fracturas tibiales, aunque la investigación subraya la posibilidad de confusión por indicación, ya que quienes requieren transfusión suelen presentar mayor pérdida sanguínea, lesiones de alta energía o compromiso sistémico más importante; en este escenario, la transfusión puede funcionar como marcador de gravedad clínica y no necesariamente como una exposición causal independiente [2].

Los abordajes con doble incisión aparecieron entre las variables asociadas en el metaanálisis tibial, pero la fuente base no proporcionó magnitud del efecto, localización específica dentro del espectro de fracturas tibiales ni ajuste por complejidad de la lesión; en consecuencia, se mantuvo como hallazgo específico de esa síntesis y no se generalizó a todas las fracturas de huesos largos ni se interpretó como recomendación para evitar un abordaje determinado [2].

La elección del implante y de la estrategia de fijación debe adaptarse a la estabilidad requerida, las características del hueso y el estado de los tejidos blandos, principio que adquiere relevancia cuando existe infección o elevado riesgo de desarrollarla; las recomendaciones de consenso incluidas en la bibliografía resaltan que el manejo de FRI

debe integrar estabilidad, desbridamiento, cobertura y tratamiento antimicrobiano, sin depender de una sola intervención aislada [8,9].

Los estafilococos poseen relevancia dentro de la infección relacionada con la fractura por su capacidad de adherirse a superficies metálicas y formar biofilm, condición que puede reducir la eficacia de los antimicrobianos y favorecer la persistencia de microorganismos sobre el implante; la investigación base enfatiza que este mecanismo obliga a interpretar la infección como un proceso que puede involucrar simultáneamente hueso, tejidos blandos y material de osteosíntesis [6-10].

En la cohorte multicéntrica de Wang y colaboradores, *Staphylococcus aureus* fue el microorganismo predominante entre los casos de infección, dato que aporta una referencia microbiológica concreta dentro de una revisión centrada principalmente en factores de riesgo clínicos; sin embargo, la fuente no proporcionó la proporción exacta de aislamientos, distribución de resistencia, presencia de infección polimicrobiana ni comparación entre microorganismos, por lo que no se añadieron cifras o perfiles microbiológicos no reportados [3].

El diagnóstico de FRI debe integrar hallazgos clínicos, microbiológicos, histopatológicos e imagenológicos, evitando depender exclusivamente de cultivos superficiales; esta perspectiva es coherente con los consensos utilizados como fundamento conceptual, que diferencian criterios confirmatorios y sugieren la obtención de muestras profundas como parte de una evaluación diagnóstica estructurada, sin que la revisión actual pretenda sustituir una guía terapéutica o diagnóstica específica [6,7].

La Tabla 4 integra factores terapéuticos y microbiológicos, señalando los datos concretos que la fuente permite sostener y las principales precauciones para evitar inferencias causales no justificadas.

Tabla 4. Factores terapéuticos y microbiológicos relevantes en la síntesis

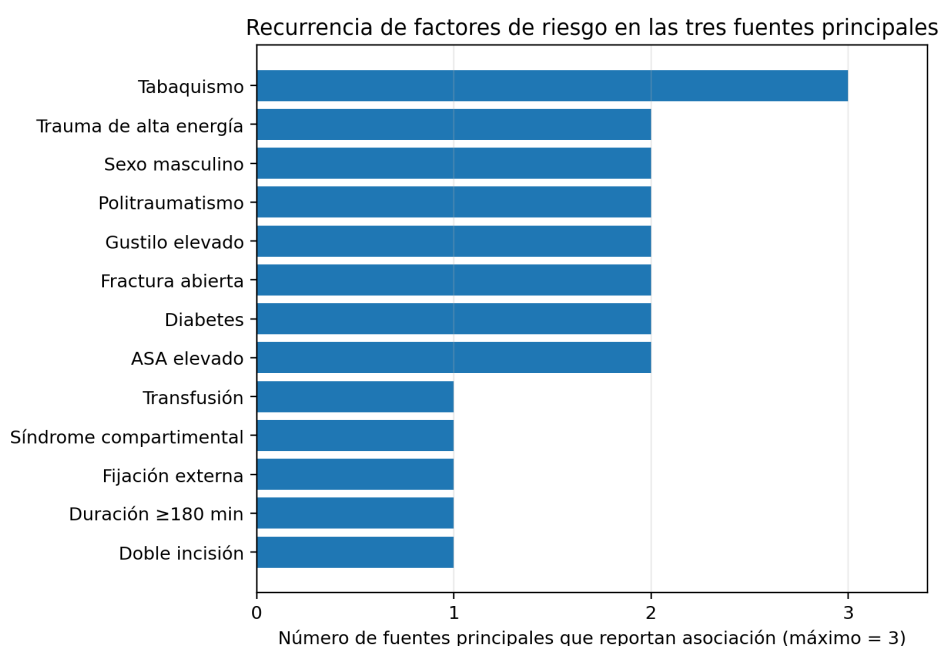
Variable	Resultado descrito	Interpretación clínica	Límite de la evidencia disponible
Duración quirúrgica	≥180 minutos como factor independiente en cohorte multicéntrica [3].	Puede reflejar exposición prolongada y mayor complejidad.	No se consignan tamaños de efecto en la fuente base.
Fijación externa	Asociada con infección en metaanálisis tibial [2].	Frecuente en lesiones graves o con daño de tejidos blandos.	Posible confusión por indicación.
Transfusión sanguínea	Asociada con infección en fracturas tibiales [2].	Puede acompañar pérdida sanguínea y trauma grave.	Posible confusión por indicación.
Doble incisión	Asociación descrita en revisión tibial [2].	Hallazgo específico del contexto tibial.	No debe generalizarse a todas las fracturas.
Staphylococcus aureus	Microorganismo predominante en la cohorte multicéntrica [3].	Relevancia microbiológica en infección posterior a fijación.	La proporción exacta no se reporta en la fuente base.
Biofilm	Mecanismo relevante por adhesión a superficies implantadas [6-10].	Favorece persistencia y dificulta erradicación.	Concepto de consenso, no resultado cuantitativo propio.

Nota. Se conservaron únicamente asociaciones y datos expresamente disponibles; las columnas interpretativas no representan pruebas de causalidad.

La integración de variables terapéuticas confirma que el tratamiento puede participar en el perfil de riesgo, pero también que muchas decisiones quirúrgicas están condicionadas por la gravedad inicial, por lo que la lectura de estos hallazgos exige distinguir exposición, indicación y complejidad; esta cautela es esencial para evitar conclusiones simplistas que penalicen una estrategia utilizada precisamente porque el paciente presenta una lesión más grave.

La recurrencia de los factores de riesgo se examinó en las tres fuentes principales de la síntesis, correspondientes al metaanálisis de fracturas abiertas, el metaanálisis tibial y la cohorte multicéntrica; el recuento expresa cuántas de estas fuentes reportaron cada asociación y no representa tamaño de efecto, riesgo relativo ni causalidad.

Gráfico 4. Recurrencia de factores de riesgo en las tres fuentes principales



Fuente: Elaboración a partir de los factores explícitamente descritos en las referencias 1-3.

El tabaquismo aparece en las tres fuentes principales y constituye la asociación más repetida dentro de este recuento, mientras que diabetes, ASA elevado, politraumatismo, trauma de alta energía, sexo masculino y mayor gravedad Gustilo-Anderson aparecen en dos; la recurrencia refuerza su utilidad para estratificación, aunque la ausencia de tamaños de efecto homogéneos impide ordenar los factores por magnitud de riesgo.

La prevención se inicia antes de la intervención mediante identificación de pacientes de alto riesgo, valoración de diabetes, tabaquismo, estado nutricional, comorbilidades, clasificación ASA y características de la lesión; el propósito no consiste en excluir automáticamente a quien presenta un factor, sino en reconocer vulnerabilidades y optimizar los elementos modificables cuando el tiempo clínico y la urgencia de la fractura lo permiten.

En fracturas abiertas deben priorizarse la evaluación de la contaminación, la magnitud del daño de tejidos blandos, la posibilidad de cobertura, el tratamiento antibiótico oportuno y el desbridamiento apropiado; estas medidas se relacionan con la necesidad de controlar el ambiente local donde se producirá la fijación y reducir condiciones que

favorezcan persistencia bacteriana, sin asumir que una sola intervención neutraliza el riesgo acumulado por la gravedad de la lesión [8-10].

Durante la cirugía se plantea reducir agresiones innecesarias a los tejidos, optimizar la duración del procedimiento cuando sea posible y mantener condiciones estrictas de asepsia, además de seleccionar el implante y la estrategia de fijación de acuerdo con la estabilidad requerida y el estado biológico del segmento; la duración quirúrgica debe entenderse como un objetivo de eficiencia compatible con una técnica segura, no como una indicación de acortar procedimientos a costa de una fijación inadecuada.

La prevención continúa después del cierre mediante seguimiento clínico temprano y evaluación inmediata ante signos de infección, dehiscencia, drenaje persistente o alteraciones de la cicatrización; la vigilancia adquiere mayor relevancia en fracturas abiertas, lesiones tibiales complejas, politraumatizados y pacientes con varios factores concurrentes, porque la identificación precoz puede facilitar decisiones diagnósticas y terapéuticas antes de que se consolide un proceso infeccioso persistente.

Discusión

La síntesis confirma que la infección posterior a la osteosíntesis debe interpretarse como el resultado potencial de múltiples dimensiones que convergen en un mismo paciente, porque la vulnerabilidad del huésped, la gravedad de la fractura, el estado de los tejidos blandos y la complejidad del tratamiento pueden coexistir y reforzarse; esta perspectiva evita buscar una causa única y favorece una estratificación en la que cada factor aporta información sobre el riesgo global, sin que todas las asociaciones tengan la misma capacidad explicativa o causal.

La consistencia observada para fracturas abiertas y lesiones de mayor gravedad representa uno de los hallazgos centrales, ya que la comunicación con el exterior, la contaminación, la exposición ósea y la destrucción de tejidos blandos generan un entorno local desfavorable desde el momento inicial del trauma; el metaanálisis de Kortram y colaboradores ubicó la gravedad de la fractura, la contaminación y el politraumatismo junto con diabetes y tabaquismo entre los factores de mayor relevancia, lo que ilustra la interacción entre estado del huésped y daño local [1].

La revisión de Niebuhr y colaboradores amplió esta interpretación en el contexto tibial al reunir 42 investigaciones y describir una red de asociaciones que incluye síndrome compartimental, transfusión, fractura abierta, Gustilo-Anderson elevado, fijación externa, ASA elevado, politrauma, doble incisión, tabaquismo, sexo masculino y trauma de alta energía; la diversidad de estas variables muestra que el riesgo tibial no se concentra en un solo momento del proceso, sino que se distribuye desde la lesión inicial hasta la estrategia quirúrgica y la condición sistémica [2].

La cohorte multicéntrica de Wang y colaboradores aporta un contraste útil porque examinó infección posterior a la fijación desde un diseño observacional multicéntrico y reportó una incidencia aproximada de 1,7 %, además de factores independientes como

tabaquismo, diabetes, ASA elevado, trauma de alta energía, fractura abierta y duración quirúrgica igual o superior a 180 minutos; la coincidencia de varios factores con las revisiones previas refuerza su relevancia para la estratificación, aunque la magnitud exacta de cada asociación no está disponible en el documento base [3].

La aplicabilidad regional debe interpretarse con cautela porque las fuentes incluidas en la síntesis no aportan una serie ecuatoriana específica que permita estimar incidencia local o contrastar magnitudes de asociación; en consecuencia, los factores se emplean como marco de estratificación sustentado en evidencia internacional y no como una predicción numérica para una institución determinada. Esta ausencia de estimaciones locales respalda la necesidad de registros prospectivos que documenten infección relacionada con fractura mediante definiciones uniformes y permitan comparar el comportamiento de los factores en distintos sistemas de salud.

La diabetes merece una interpretación que combine evidencia clínica y plausibilidad biológica, porque la alteración de la respuesta inmunitaria, la microcirculación y la cicatrización puede disminuir la capacidad de controlar un inóculo bacteriano y reparar tejidos traumatizados; sin embargo, la presencia de diabetes no determina por sí sola el desenlace, por lo que su utilidad principal radica en reconocer una condición sistémica que puede optimizarse y que debe considerarse junto con el control de la lesión, la estabilidad y la cobertura de tejidos [1,3].

El tabaquismo presenta un perfil diferente por tratarse de una exposición potencialmente modificable con asociación repetida en las fuentes principales, lo que le confiere relevancia preventiva; la vasoconstricción, la reducción de oxigenación tisular y el deterioro de la reparación descritos en la investigación proporcionan una explicación coherente con el mayor riesgo observado, aunque la revisión no permite establecer

cuánto disminuye el riesgo tras suspender el consumo ni definir un periodo mínimo de abstinencia, datos que requerirían estudios específicos [1-3].

La clasificación ASA elevada representa más un indicador agregado de vulnerabilidad que una exposición única, por lo que su asociación con infección puede reflejar múltiples comorbilidades, menor reserva fisiológica o mayor complejidad perioperatoria; este carácter de marcador integrado resulta clínicamente útil porque permite identificar pacientes en los que una fractura compleja se suma a una condición sistémica desfavorable, pero no debe interpretarse como una explicación etiológica aislada ni como un objetivo terapéutico independiente [2,3].

La fractura abierta constituye probablemente el ejemplo más claro de una variable que integra exposición al ambiente, daño tisular y complejidad terapéutica, de modo que su asociación repetida en distintas fuentes resulta consistente con la fisiopatología del proceso infeccioso; la gravedad según Gustilo-Anderson añade una gradación de la lesión que ayuda a contextualizar el riesgo, aunque la clasificación no reemplaza la valoración directa del tejido, la contaminación y las necesidades de cobertura o reconstrucción [1-3].

El papel del traumatismo de alta energía debe interpretarse dentro del mismo marco, porque un mecanismo intenso puede traducirse en daño extenso de tejidos blandos, lesión vascular y politraumatismo, condiciones que a su vez condicionan transfusión, estabilización temporal y cirugías más complejas; por esta razón, atribuir la infección exclusivamente al mecanismo de trauma sería simplificar una cadena de exposiciones que se superponen y que pueden explicar parte de la asociación observada [2,3].

El politraumatismo refuerza esta idea de acumulación, ya que combina alteraciones fisiológicas sistémicas con lesiones locales y múltiples necesidades terapéuticas; una persona politraumatizada puede requerir transfusiones, procedimientos sucesivos y

estrategias de control de daño, de modo que la infección posterior a una osteosíntesis aparece dentro de un contexto asistencial más complejo y no como un evento desvinculado del estado general, lo que justifica vigilancia más estrecha y planificación perioperatoria individualizada [1,2].

La asociación entre fijación externa e infección ilustra con especial claridad el problema de la confusión por indicación, porque la fijación externa se utiliza con frecuencia precisamente cuando la lesión es más grave, existe compromiso de tejidos blandos o se requiere estabilización temporal; por ello, el hallazgo no autoriza a concluir que la técnica deba evitarse de manera general, y una interpretación adecuada debe separar el efecto potencial del procedimiento de la severidad que motivó su elección [2].

La transfusión sanguínea presenta una dificultad interpretativa similar, pues puede acompañar hemorragia, trauma de alta energía y procedimientos prolongados, de modo que su asociación puede reflejar el estado del paciente más que un mecanismo infeccioso directo; la investigación base reconoce expresamente esta posibilidad y constituye un ejemplo de por qué los resultados observacionales deben formularse como asociaciones, reservando la causalidad para diseños y análisis capaces de controlar adecuadamente los factores de confusión [2].

La duración quirúrgica igual o superior a 180 minutos fue un hallazgo independiente en la cohorte multicéntrica y tiene relevancia práctica porque el tiempo operatorio puede relacionarse con exposición, manipulación y pérdida sanguínea, aunque también puede ser una consecuencia de fracturas complejas; la respuesta clínica no debería consistir en reducir artificialmente el tiempo de cirugía, sino en planificar el procedimiento, disponer de recursos adecuados y evitar demoras prevenibles sin comprometer la calidad de la fijación ni el manejo de tejidos [3].

El síndrome compartimental aporta una dimensión local de gravedad y daño biológico, especialmente en fracturas tibiales, debido a la combinación de edema, compromiso vascular, lesión muscular y necesidad de intervenciones adicionales; su asociación con infección resulta coherente con un entorno tisular desfavorable, pero la fuente no permite separar la contribución del síndrome de la lesión inicial o de los procedimientos derivados, por lo que debe conservarse la interpretación como marcador de severidad [2].

La microbiología introduce otra capa de análisis, porque la presencia de *Staphylococcus aureus* como microorganismo predominante en la cohorte multicéntrica se integra con la relevancia general de los estafilococos en infecciones de implantes; la capacidad de formar biofilm explica por qué una infección puede persistir pese al tratamiento y por qué la estrategia terapéutica debe considerar estabilidad, desbridamiento, cobertura y antimicrobianos de forma coordinada, principios recogidos en los consensos incluidos en la bibliografía [3,6-11].

La prevención preoperatoria se deriva de la posibilidad de reconocer y optimizar componentes modificables, especialmente tabaquismo y control metabólico, además de valorar estado nutricional, comorbilidades y ASA; en el contexto de trauma urgente, algunas intervenciones pueden estar limitadas por el tiempo disponible, pero la identificación temprana sigue siendo útil para adaptar vigilancia, manejo de glucemia, soporte sistémico y planificación quirúrgica, sin convertir la optimización en una causa de retraso injustificado del tratamiento.

En fracturas abiertas, la prevención requiere integrar contaminación, desbridamiento, antibióticos oportunos y cobertura de tejidos blandos, porque el riesgo surge de un entorno local que combina exposición bacteriana y pérdida de barreras; la revisión no proporciona comparaciones cuantitativas entre protocolos de antibióticos, tiempos de

desbridamiento o técnicas de cobertura, por lo que estas medidas se presentan como principios generales derivados de la literatura incluida y no como umbrales terapéuticos nuevos [8-10].

La prevención intraoperatoria se relaciona con técnica cuidadosa, reducción de agresiones innecesarias a tejidos, control de la duración cuando sea posible, asepsia y elección de una estrategia de fijación compatible con estabilidad y biología local; la aplicación de estos principios debe individualizarse porque una lesión compleja puede requerir más tiempo o procedimientos escalonados, y una conducta preventiva adecuada no consiste en aplicar una regla rígida sino en reducir exposiciones evitables sin comprometer objetivos mecánicos y reconstructivos.

Entre las fortalezas del trabajo se encuentra la integración de evidencia procedente de revisiones sistemáticas, metaanálisis, cohortes y consensos internacionales, junto con una clasificación clínica que diferencia huésped, lesión y tratamiento; esta estructura permite reconocer convergencias entre fuentes y evita reducir el riesgo a una sola dimensión, además de mantener una declaración explícita de transparencia que prohíbe inventar recuentos PRISMA o datos cuantitativos ausentes.

Las limitaciones son relevantes y condicionan el alcance de las conclusiones, porque existe heterogeneidad en la definición de infección, población, localización anatómica, tipo de implante y seguimiento, además de un predominio de evidencia observacional; estas diferencias impiden asumir equivalencia entre todos los estudios y limitan la posibilidad de establecer causalidad, especialmente cuando las variables de tratamiento pueden estar condicionadas por la gravedad inicial de la lesión.

La ausencia de una estrategia de búsqueda completa y reproducible, fechas exactas por base de datos, diagrama PRISMA con recuentos reales, tabla integral de estudios incluidos y evaluación formal del riesgo de sesgo constituye una limitación

metodológica adicional; PRISMA 2020 mejora la transparencia del reporte, pero no sustituye esos componentes, por lo que una futura versión de revisión sistemática formal debería completar la documentación sin reconstruir retrospectivamente datos que no fueron registrados [4,5].

La falta de tamaños de efecto comparables también impide establecer una jerarquía cuantitativa entre factores, de modo que expresiones como “mayor riesgo” deben interpretarse a partir de las asociaciones descritas en las fuentes y no como una diferencia uniforme aplicable a todas las fracturas; la heterogeneidad anatómica y metodológica justifica esta precaución y explica por qué se optó por una síntesis narrativa en lugar de combinar resultados de forma estadística.

Las futuras investigaciones deberían avanzar hacia definiciones uniformes de FRI, registro prospectivo de factores del huésped y de la lesión, documentación precisa de tiempos quirúrgicos, transfusiones, estrategias de fijación y estado de tejidos blandos, además de análisis multivariable capaces de distinguir factores independientes de marcadores de gravedad; estas condiciones permitirían desarrollar modelos predictivos clínicamente útiles y comparar su rendimiento en diferentes localizaciones de huesos largos.

En conjunto, la evidencia respalda un enfoque preventivo continuo que inicia con la valoración del paciente y de la lesión, continúa durante la planificación y ejecución de la fijación y se prolonga en el seguimiento; la utilidad de la revisión reside menos en proponer una regla única que en mostrar cómo diferentes exposiciones se acumulan y exigen decisiones individualizadas, con especial atención a factores modificables y a escenarios de lesión grave.

Conclusiones

La infección posterior a la osteosíntesis de fracturas de huesos largos constituye una complicación multifactorial en la que convergen características del huésped, gravedad de la fractura, daño de tejidos blandos y variables vinculadas al tratamiento, por lo que el riesgo no debe estimarse mediante un único predictor; la evidencia sintetizada muestra mayor consistencia para fractura abierta, Gustilo-Anderson avanzado, lesión extensa de tejidos blandos, tabaquismo, diabetes mellitus, ASA elevado, politraumatismo, trauma de alta energía, síndrome compartimental, fijación externa, transfusión y procedimientos quirúrgicos prolongados.

Los factores del huésped aportan oportunidades de prevención diferenciadas, porque el tabaquismo y el control metabólico son potencialmente modificables, mientras que el ASA elevado, el sexo y otros marcadores epidemiológicos sirven principalmente para reconocer vulnerabilidad; esta distinción permite orientar la valoración preoperatoria hacia acciones posibles sin confundir la presencia de una variable con una relación causal inevitable.

La fractura abierta y la gravedad del daño de tejidos blandos ocupan una posición central en la estratificación, debido a la combinación de contaminación, exposición ósea, pérdida de cobertura y complejidad terapéutica, mientras que el trauma de alta energía, el politraumatismo y el síndrome compartimental reflejan escenarios donde se acumulan lesiones locales y alteraciones sistémicas; la evaluación debe integrar mecanismo, clasificación y condición real de los tejidos.

Las variables terapéuticas requieren interpretación prudente, porque la duración quirúrgica igual o superior a 180 minutos mostró asociación independiente en una cohorte multicéntrica, mientras que fijación externa y transfusión se asociaron con infección en fracturas tibiales, aunque estas últimas pueden actuar como marcadores de

lesiones más graves; en consecuencia, no se justifica atribuir causalidad directa ni evitar una estrategia necesaria únicamente por su asociación observacional.

La prevención debe comenzar desde la valoración inicial, continuar durante el manejo quirúrgico y mantenerse en el seguimiento posoperatorio, con optimización de factores modificables, evaluación rigurosa de fracturas abiertas y tejidos blandos, técnica cuidadosa, planificación de la fijación, asepsia y vigilancia temprana de signos compatibles con infección; los pacientes con múltiples factores concurrentes requieren una atención particularmente individualizada.

La revisión mantiene limitaciones derivadas de la heterogeneidad de estudios, predominio de diseños observacionales, ausencia de metaanálisis propio y falta de documentación completa de la estrategia de búsqueda, recuentos PRISMA y riesgo de sesgo; por ello, las conclusiones expresan asociaciones y no causalidad, y una futura revisión formal deberá completar esos elementos, incorporar extracción cuantitativa reproducible y validar modelos de estratificación sin fabricar datos ausentes.

Referencias Bibliográficas

1. Kortram K, Bezstarosti H, Metsemakers WJ, Raschke MJ, Van Lieshout EMM, Verhofstad MHJ. Risk factors for infectious complications after open fractures; a systematic review and meta-analysis. *International Orthopaedics*. 2017;41(10):1965-1982. doi:10.1007/s00264-017-3556-5.
2. Niebuhr D, Mattson T, Jensen NM, Viberg B, Jensen SS. Risk factors for tibial infections following osteosynthesis: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2024;50:102376. doi:10.1016/j.jcot.2024.102376.

3. Wang B, Zhang J, Han W, Tang X, Tian F. Incidence and risk factors of infection after fracture fixation: A multicenter cohort study. *Orthopaedic Surgery*. 2025;17(1):151-162. doi:10.1111/os.14278.
4. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
5. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n160.
6. Metsemakers WJ, Morgenstern M, Senneville E, Borens O, Govaert GAM, Onsea J, et al. Fracture-related infection: A consensus on definition from an international expert group. *Injury*. 2018;49(3):505-510. doi:10.1016/j.injury.2017.08.040.
7. McNally M, Govaert G, Dudareva M, Morgenstern M, Metsemakers WJ. Definition and diagnosis of fracture-related infection. *EFORT Open Reviews*. 2020;5(10):614-619. doi:10.1302/2058-5241.5.190072.
8. Metsemakers WJ, Kuehl R, Moriarty TF, Richards RG, Verhofstad MHJ, Borens O, et al. General treatment principles for fracture-related infection: Recommendations from an international expert group. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2020;140(8):1013-1027. doi:10.1007/s00402-019-03287-4.
9. Depypere M, Kuehl R, Metsemakers WJ, Senneville E, McNally MA, Obremskey WT, et al. Recommendations for systemic antimicrobial therapy in fracture-related infection: A consensus from an international expert group. *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2020;34(1):30-41. doi:10.1097/BOT.0000000000001626.

10. Steinmetz S, Wernly D, Stricher L, Trampuz A, Borens O. Infection after fracture fixation. *EFORT Open Reviews*. 2019;4(7):353-363.
doi:10.1302/2058-5241.4.180093.
11. Bezstarosti H, van Lieshout EMM, Voskamp LW, Kortram K, Obremskey WT, McNally MA, et al. Insights into treatment and outcome of fracture-related infection: A systematic literature review. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2019;139(1):61-72. doi:10.1007/s00402-018-3048-0.
12. Whiting PS, Galat DD, Zirkle LG, Obremskey WT, Bhandari M. Risk factors for infection after intramedullary nailing of open tibial shaft fractures in low- and middle-income countries. *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2019;33(6):e234-e239. doi:10.1097/BOT.0000000000001441.
13. Yin C, Sun L. Risk factors contributing to postoperative surgical site infections in patients undergoing ankle fracture fixation: A systematic review and meta-analysis. *International Wound Journal*. 2024;21(4):e14639.
doi:10.1111/iwj.14639.
14. Zhang Y, Hou Z, Wang Y, Li X, Tan X. Risk factors for surgical site infection following operative treatment of ankle fractures: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery*. 2018;56:124-132.
doi:10.1016/j.ijssu.2018.06.018.
15. Zhang Y, Sun Y, Wang Y, Zhao X, Liu S. Incidence and risk factors for surgical site infection after open reduction and internal fixation of tibial plateau fracture: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery*. 2017.