

Impacto de tecnologías avanzadas en precisión y resultados de artroplastia de rodilla: revisión sistemática

Impact of Advanced Technologies on Precision and Outcomes in Knee Arthroplasty: A Systematic Review

Paulo Telenchana-Chimbo¹ <https://orcid.org/0000-0002-0187-4143>

Estefanía Criollo-Guerrero^{2*} <https://orcid.org/0009-0001-7051-6323>

Esteban Cruz-Anguieta² <https://orcid.org/0009-0006-8085-1922>

Camila Flores-Sánchez² <https://orcid.org/0009-0003-7569-7228>

¹ Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias de la Salud. Ambato, Ecuador.

² Estudiante de Medicina. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias de la Salud. Ambato, Ecuador.

*Autor para la correspondencia (email): stefandre@hotmail.com.ar

RESUMEN

Introducción: En las últimas décadas, el avance de las tecnologías quirúrgicas ha transformado los procedimientos de artroplastia total de rodilla, una intervención clave para tratar enfermedades articulares severas. Herramientas como la cirugía robótica, la asistencia computarizada, las guías personalizadas y los sistemas de navegación han sido desarrolladas con el objetivo de mejorar la precisión en la colocación de implantes, reducir complicaciones postoperatorias y optimizar la recuperación funcional de los pacientes. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías plantea interrogantes sobre su impacto real en los resultados clínicos y económicos en comparación con los métodos convencionales.

Objetivo: Evaluar la influencia de tecnologías avanzadas como la cirugía robótica, la asistencia computarizada, las guías personalizadas y los sistemas de navegación en aspectos como la precisión quirúrgica, las tasas de complicaciones, los tiempos de recuperación y la supervivencia de los implantes.

Métodos: Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura conforme a las pautas PRISMA, con el uso de bases de datos como PubMed, Scopus e IEEE Xplore. La búsqueda incluyó estudios publicados en los últimos 10 años que analizaron los resultados clínicos y económicos de estas herramientas.

<http://revistaamc.sld.cu/>

Resultados: Los resultados indican mejoras significativas en la precisión quirúrgica y una reducción en complicaciones a corto plazo, como problemas de alineación y trombosis. No obstante, los beneficios en funcionalidad a largo plazo y las tasas de revisión de prótesis no son consistentes. Además, los elevados costos asociados representan una barrera para su adopción generalizada.

Conclusiones: Aunque las tecnologías quirúrgicas avanzadas ofrecen ventajas en términos de precisión y complicaciones a corto plazo, su impacto en la funcionalidad a largo plazo y los beneficios económicos no está completamente establecido. Se destaca la necesidad de más investigaciones clínicas y económicas a largo plazo para evaluar su adopción generalizada en la práctica quirúrgica.

DeCS: RODILLA/cirugía; ARTROPLASTIA DE REEMPLAZO DE RODILLA; PROCEDIMIENTOS QUIRÚRGICOS ROBOTIZADOS; ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO; CIRUGÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR.

ABSTRACT

Introduction: Over the past decades, advancements in surgical technologies have transformed total knee arthroplasty (TKA), a key procedure for treating severe joint pathologies. Tools such as robotic surgery, computer-assisted surgery, patient-specific guides, and navigation systems have been developed to enhance implant placement accuracy, reduce postoperative complications, and optimize patients' functional recovery. However, implementing these technologies raises questions about their actual impact on clinical and economic outcomes compared to conventional methods.

Objective: To evaluate the influence of advanced technologies, including robotic surgery, computer-assisted techniques, patient-specific guides, and navigation systems, on surgical precision, complication rates, recovery times, and implant survival.

Methods: A systematic literature review was conducted following PRISMA guidelines, utilizing databases such as PubMed, Scopus, and IEEE Xplore. The search included studies published in the past 10 years that analyzed the clinical and economic outcomes of these tools.

Results: The findings indicate significant improvements in surgical precision and a reduction in short-term complications, such as alignment issues and thrombosis. However, long-term benefits in functionality and prosthesis revision rates are inconsistent. Additionally, high associated costs pose a barrier to widespread adoption.

Conclusions: While advanced surgical technologies offer advantages in terms of precision and short-term complication reduction, their impact on long-term functionality and economic benefits is not yet fully established. Further clinical and economic research over the long term is necessary to assess their broader adoption in surgical practice.

Recibido: 06/12/2024

Aprobado: 02/05/2025

Ronda: 1

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos, se han probado reemplazos articulares con materiales rudimentarios, como madera o metal, para aliviar el dolor y restaurar la movilidad en casos de daño articular.⁽¹⁾ Sin embargo, estas soluciones tempranas estaban limitadas por la falta de conocimiento anatómico y la ausencia de materiales biocompatibles, lo que afectaba de manera significativa su eficacia.⁽²⁾ En 1891, un avance importante en la cirugía ortopédica ocurrió cuando el cirujano alemán Themistocles Gluck desarrolló las primeras prótesis articulares hechas de marfil (citado por Hernigou³). Aunque primitivas en comparación con los estándares actuales, estas prótesis marcaron los primeros intentos exitosos de reemplazo en la mandíbula, cadera y rodilla.

En las últimas décadas, el desarrollo de enfoques mínimamente invasivos y la cirugía asistida por imagen han optimizado la precisión en la colocación de implantes, lo que ha reducido las complicaciones y acelerado la recuperación de los pacientes.⁽⁴⁾ La artroplastia total, especialmente de cadera (ATC) y rodilla (ATR), es ahora uno de los procedimientos ortopédicos más efectivos para restaurar la funcionalidad articular en casos de desgaste severo, artrosis avanzada y otras enfermedades articulares.⁽⁵⁾ En particular, la ATR se ha convertido en un pilar esencial para tratar enfermedades degenerativas como la osteoartritis avanzada, gracias a su capacidad para aliviar el dolor y recuperar la funcionalidad.⁽⁶⁾

El éxito de estos procedimientos depende en gran medida de los avances en materiales y tecnologías quirúrgicas. Factores claves como la estabilidad y durabilidad de los implantes están de manera directamente relacionados con una colocación precisa, una adecuada osteointegración y la reducción de complicaciones postoperatorias. Entre estas complicaciones, el aflojamiento, el desgaste y las infecciones representan desafíos importantes.⁽⁷⁾ Estudios recientes resaltan que un mal posicionamiento de los implantes incrementa el riesgo de luxación intra o periprotésica, que puede ser responsable de hasta el 40 % de las cirugías de revisión.⁽⁸⁾ En este contexto, la investigación se enfoca en minimizar estas complicaciones mediante innovaciones en materiales y tecnologías que mejoren la precisión quirúrgica y la integración ósea, lo cual optimiza los resultados a largo plazo.

Entre los avances más destacados en materiales se encuentran los recubrimientos bioactivos y las prótesis personalizadas, diseñados para fomentar una mejor integración ósea y disminuir el riesgo de rechazo.^(9,10) En términos de tecnología, la Cirugía Asistida por Computadora (CAC), la cirugía asistida

por robot y los sistemas de modelado y simulación preoperatoria han permitido mejoras sustanciales en la colocación de implantes.^(11,12)

La impresión 3D de implantes personalizados ha revolucionado la fabricación de prótesis, ya que permite la creación de estructuras que replican la porosidad y la elasticidad del hueso trabecular. Esto ha mostrado una mejora significativa en la estabilidad y reducción de complicaciones postoperatorias en un 30 % en comparación con los implantes tradicionales.⁽¹³⁾ La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático también han transformado la planificación preoperatoria, ya que facilitan la simulación de diferentes escenarios quirúrgicos y optimizan la colocación de implantes lo que mejora la precisión quirúrgica.⁽¹⁴⁾

A pesar de estos avances, la ATR enfrenta importantes cuestionamientos asociados a su creciente demanda. Este incremento se debe al envejecimiento de la población, el aumento de la longevidad y la prevalencia de enfermedades crónicas como la obesidad, un factor de riesgo clave.⁽¹⁵⁾ En países como Estados Unidos y Alemania, las proyecciones muestran un crecimiento sostenido de los procedimientos, que alcanzaron hasta un 139 % para 2040 y del 469 % para 2060.⁽¹⁶⁾ Esta alta demanda no solo evidencia la necesidad de una evaluación completa de la efectividad del procedimiento, sino también su implicación económica, dado que la aplicación de este procedimiento varía según factores como nivel socioeconómico, género y región geográfica.⁽¹⁷⁾

Por lo tanto, el estudio se propone realizar una revisión sistemática de la literatura reciente para analizar el impacto de tecnologías avanzadas, como la cirugía robótica, las guías personalizadas y los sistemas de navegación, en la precisión quirúrgica y los resultados postoperatorios en la artroplastia de rodilla. Este análisis integral permitirá evaluar su efectividad en comparación con los métodos convencionales y contribuirá al desarrollo de estrategias que optimicen su aplicación clínica.

MÉTODOS

Diseño de la Revisión

Se llevó a cabo una revisión sistemática para evaluar el impacto de las tecnologías avanzadas en procedimientos de artroplastia. La revisión siguió las pautas del PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar un enfoque sistemático y reproducible en la búsqueda, selección y síntesis de la evidencia disponible.⁽¹⁸⁾

Fuentes de Información y Estrategia de Búsqueda

La búsqueda se realizó en las bases de datos electrónicas PubMed, Scopus, IEEE Xplore y *Web of Science*. La estrategia de búsqueda se diseñó para abarcar términos específicos relacionados con artroplastia y tecnologías en cirugía ortopédica. Se utilizaron las siguientes palabras clave *arthroplasty*,

joint replacement, hip arthroplasty, knee arthroplasty, combinadas con términos tecnológicos como *robot-assisted surgery, robotic surgery, computer-assisted surgery, navigation surgery, artificial intelligence, machine learning, deep learning, 3D visualization, 3D printing, augmented reality*, y *AR*. Se aplicaron filtros para seleccionar estudios publicados en los últimos 10 años y en inglés.

Criterios de Inclusión

Se incluyeron estudios que cumplieron con los siguientes criterios: (I) publicados en los últimos 10 años; (II) tipos de estudio como ensayos clínicos, revisiones sistemáticas, estudios observacionales y de cohortes; (III) disponibles en inglés; (IV) centrados en la aplicación de tecnologías avanzadas, como inteligencia artificial, cirugía robótica, navegación quirúrgica y realidad aumentada en procedimientos de artroplastia; y (V) que informaron resultados clínicos, como precisión en la colocación de implantes, tasas de complicaciones y tiempos de recuperación postoperatoria.

Criterios de Exclusión

Se excluyeron los estudios que: (I) no proporcionaron datos clínicos específicos sobre artroplastia; (II) fueron publicaciones exclusivamente teóricas o de opinión sin datos experimentales; y (III) se centraron en tecnologías no aplicables directa a los procedimientos de artroplastia.

Proceso de Selección y Extracción de Datos

La selección de estudios se realizó en dos etapas: título y resumen: Dos revisores independientes evaluaron los títulos y resúmenes para identificar los estudios que cumplieran con los criterios de inclusión. Texto completo: Los estudios preseleccionados fueron revisados íntegramente para confirmar su pertinencia y adecuación. Las discrepancias entre los revisores se resolvieron por consenso o, si fue necesario, mediante la intervención de un tercer revisor.

Para la extracción de datos, se empleó un formulario estandarizado que recogió información, e incluyó: autor, año de publicación, tipo de estudio, tecnología utilizada en la artroplastia, resultados clínicos (precisión en la colocación del implante, complicaciones, tiempos de recuperación) y limitaciones. La extracción fue realizada por dos revisores independientes para garantizar la coherencia y exactitud de la información.

RESULTADOS

La búsqueda inicial arrojó un total de 2 912 artículos de cuatro bases de datos. Tras eliminar 1 460 registros duplicados, se examinaron 1 452 resúmenes y se excluyeron 1 312 artículos. Se seleccionaron 140 artículos para su lectura a texto completo. Después de excluir 125 que no cumplieran con los criterios de elegibilidad, 15 artículos fueron incluidos en la revisión final. El proceso de selección de estudios se llevó a cabo siguiendo las directrices de PRISMA y sus resultados se resumen en la Figura uno (Figura 1).

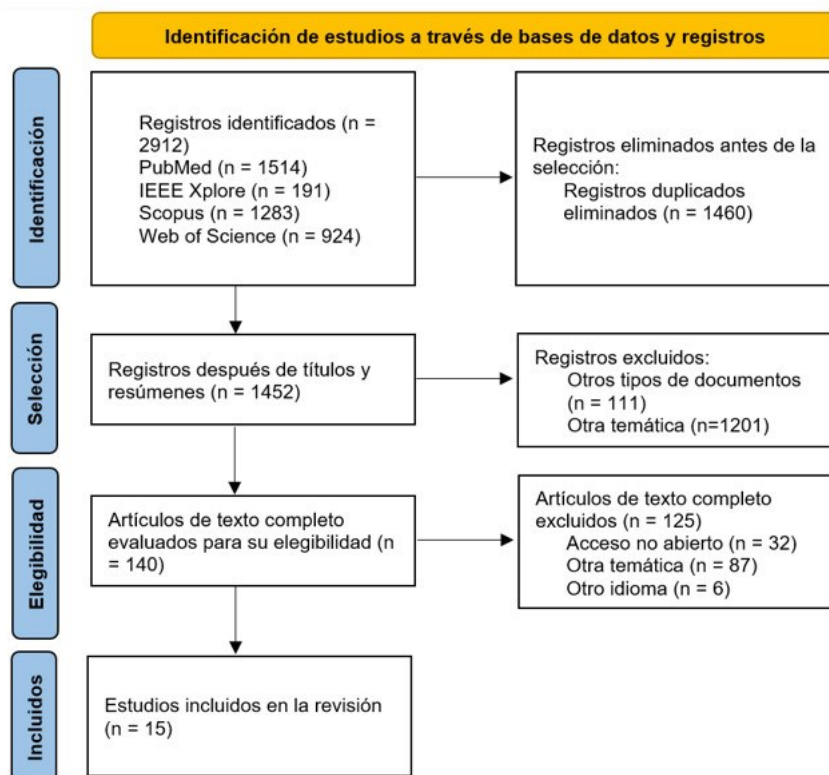


Figura 1 Flujograma PRISMA de la revisión realizada.

En la Tabla 1 se presentan las características y principales hallazgos de los estudios incluidos en la revisión (Tabla 1).

Tabla 1 Características de las intervenciones en los estudios incluidos en la revisión

Referencia	Edad	Condición de salud	Tipo de procedimiento	Resultados medidos
Franceschi J.-P.; Sbihi A., 2014 ⁽¹⁹⁾	Media de 71.2 años	Artrosis de rodilla	Artroplastia total de rodilla con guías de corte personalizadas en 3D	Mejora significativa en la precisión de la colocación del implante y en los ángulos mecánicos de la rodilla (HKA)
Meijer M.F.; Stevens M., 2014 ⁽²⁰⁾	Mínimo 18 años	Artrosis, revisión de artroplastia	Revisión de artroplastia de rodilla asistida por computadora	Alineación rotacional, coronal y sagital de la prótesis
Kuo S.-J.; Wang F.-S., 2015 ⁽²¹⁾	No específica	Artrosis de rodilla	Artroplastia total de rodilla con navegación por computadora vs técnica convencional	Pérdida de sangre y niveles de moléculas de adhesión celular
Dyrhovden G.S.; Fenstad A.M., 2016 ⁽²²⁾	No específica	Artrosis de rodilla	Artroplastia total de rodilla asistida por computadora vs convencional	Supervivencia de la prótesis, alineación, riesgo de revisión
Dunbar M.J.; Laende E.K., 2017 ⁽²³⁾	21-80 años	Artrosis	Componentes tibiales no cementados en artroplastia de rodilla	Migración y estabilidad del componente tibial
Denti M.; Soldati F., 2018 ⁽²⁴⁾	No específica	Artrosis tricompartmental de rodilla	Artroplastia de rodilla convencional vs navegación inalámbrica	Alineación mecánica, pendiente tibial, resultados clínicos

Siu K.-K.; Wu K.-T.; Ko J.-Y., 2019 ⁽²⁵⁾	Mediana de 71 años (navegación asistida), 69 años (convencional)	Artrosis avanzada de rodilla	Artroplastia total de rodilla con navegación asistida por computadora vs técnica convencional	Niveles de dímero-D y fibrinógeno como sustitutos de tromboembolismo venoso (VTE)
Laoruengthana A.; Rattanaprichavej P., 2021 ⁽²⁶⁾	No específica	Artrosis bilateral de rodilla	Artroplastia bilateral de rodilla con navegación basada en acelerómetro vs convencional	Niveles de hemoglobina, pérdida de sangre, dolor, alineación del eje mecánico
Man S.; Cao Z.; Song Y., 2022 ⁽²⁷⁾	No específica	Artrosis anteromedial de rodilla	Artroplastia unicompartimental móvil de rodilla	Tensión de los tejidos blandos, Oxford Knee Score, escala visual análoga, rango de movimiento
Hernandez-Vaquero D.; Noriega-Fernandez A., 2022 ⁽²⁸⁾	Media de 71.08 años	Deformidad de rodilla requiriendo artroplastia total	Artroplastia total de rodilla con cirugía asistida por computadora	Necesidad de liberación de tejidos blandos, relación con alineación preoperatoria del miembro
Maniar R.N.; Bhatnagar N., 2022 ⁽²⁹⁾	Media de 65.8 años	Artrosis requiriendo artroplastia total de rodilla	Artroplastia total de rodilla utilizando prótesis Attune y PFC Sigma	Dolor anterior de rodilla (AKP), crepitación patelofemoral (PFC), rango de movimiento, puntuaciones NKSS y WOMAC
Fary C.; Cholewa J., 2023 ⁽³⁰⁾	No específica	Artrosis avanzada de rodilla	Artroplastia total de rodilla asistida por robot vs manual	Rango de movimiento activo (aROM), complicaciones postoperatorias
Jung H.J.; Kang M.W., 2023 ⁽³¹⁾	No específica	Artrosis avanzada de rodilla	Artroplastia total de rodilla convencional vs asistida por robot	Tiempo operatorio, alineación del miembro inferior, posición de componentes femoral y tibial
Burgio C.; Bosco F., 2024 ⁽³²⁾	Más de 18 años	Artrosis de rodilla (grado III-IV)	Artroplastia total de rodilla asistida por robot (RA-TKA)	Incidencia de infecciones periprotésicas tempranas y tardías, complicaciones postoperatorias
Lychagin A.V.; Gritsyuk A.A., 2024 ⁽³³⁾	40 a 80 años	Artrosis severa de rodilla	Artroplastia total de rodilla convencional, asistida por computadora, y asistida por robot	Función de rodilla (puntuación KSS), alineación de prótesis, rango de movimiento, tasas de complicaciones, supervivencia de prótesis

Precisión en la colocación de implantes

Varios estudios incluidos en la revisión sistemática evaluaron la precisión en la colocación de los implantes con tecnologías avanzadas, como la cirugía asistida por computadora (CAC), plantillas personalizadas en 3D y la cirugía robótica. Franceschi y Sbihi,⁽¹⁹⁾ demostraron una mejora significativa en la precisión de la alineación de implantes en la artroplastia total de rodilla al emplear guías de corte personalizadas basadas en un sistema de planificación preoperatoria en 3D, con una notable mejora, notable en el ángulo HKA y en las puntuaciones de IKS y WOMAC a un año de seguimiento. Asimismo, Meijer et al.,⁽²⁰⁾ identificaron una mejor alineación en procedimientos de revisión de TKA con CAC en comparación con guías mecánicas.

De manera similar, los resultados de Laoruengthana et al.,⁽²⁶⁾ mostraron que los sistemas de navegación basados en acelerómetros mejoraron la precisión del eje mecánico en la artroplastia bilateral de rodilla.

Funcionalidad a corto plazo

Lograr un posicionamiento preciso del implante y restaurar la biomecánica nativa de la cadera son objetivos técnicos importantes a la hora de aplicar la artroplastia. Debido a esto, varios estudios se centraron en los resultados funcionales, aunque su análisis solo se limita en un periodo de tiempo corto. Fary et al.,⁽³⁰⁾ compararon el rango de movimiento activo entre la artroplastia total de rodilla asistida por robot y la cirugía manual, observando una mejora significativa en la flexión a uno y tres meses postoperatorios en el grupo asistido por robot.

De manera similar, Jung et al.,⁽³¹⁾ evaluaron la curva de aprendizaje y la alineación del miembro inferior en pacientes sometidos a ATR asistida por robot, encontrando que, aunque la tecnología robótica requería más tiempo operatorio durante las primeras intervenciones, mejoraba la alineación de los componentes femorales y tibiales con menos desviaciones, incluso durante la fase inicial de aprendizaje.

Denti et al.,⁽²⁴⁾ observaron que, a pesar de la mejora en precisión proporcionada por CAS, no hay diferencias significativas en los resultados funcionales a corto plazo entre los pacientes que recibieron artroplastia total de rodilla (ATR) convencional y aquellos tratados con cirugía asistida por computadora.

Supervivencia de prótesis

Dyrhovden et al.,⁽²²⁾ a través de un análisis del Registro de Artroplastias de Noruega, concluyeron que no había una diferencia significativa en las tasas generales de revisión entre la cirugía asistida por computadora y la cirugía convencional en TKA, aunque la CAC mostró una reducción en las revisiones causadas por mala alineación protésica.

Por otro lado, Lychagin et al.,⁽³³⁾ encontraron que la TKA asistida por robot presentó la mayor tasa de supervivencia de la prótesis (100 %) en comparación con la cirugía asistida por computadora

(97 %) y la cirugía convencional (96 %). A pesar de esto, la puntuación funcional de la rodilla fue ligeramente inferior en los procedimientos robóticos (media $91 \pm 3DE$) en comparación con los grupos de cirugía asistida por computadora (media $93 \pm 3DE$) y convencional (media $93 \pm 3DE$, $p = 0,011$). Esto sugiere la necesidad de un seguimiento a más largo plazo para determinar el impacto real de estas tecnologías en la supervivencia de los implantes.

Complicaciones postoperatorias

La reducción de complicaciones postoperatorias, como pérdida de sangre, trombosis e infecciones, fue otro aspecto evaluado. En un estudio comparativo, Siu et al.,⁽²⁵⁾ demostraron que la cirugía asistida por computadora en la TKA redujo los niveles de marcadores trombóticos, como el dímero-D y la fibrina, en comparación con los métodos convencionales 24 h después de la cirugía. Esto sugiere que la tecnología de navegación puede disminuir el riesgo de complicaciones tromboembólicas postoperatorias. Mientras que Kuo et al.,⁽²¹⁾ informaron una disminución en la pérdida de sangre postoperatoria y niveles reducidos de moléculas de adhesión celular (CAM), lo que subraya los beneficios clínicos de la precisión quirúrgica asistida tecnológicamente.

Por otro lado Burgio et al.,⁽³²⁾ realizaron un estudio retrospectivo que evaluó la incidencia de infecciones periprotésicas en pacientes sometidos a TKA robótica asistida por el sistema quirúrgico NAVIO, una plataforma de cirugía asistida por robot que no requiere tomografía computarizada preoperatoria y permite una planificación intraoperatoria en tiempo real basada en sensores, encontrando una baja tasa de complicaciones infecciosas en el seguimiento a corto plazo ($9,1 \pm 3,9$ meses), lo que respalda la seguridad de esta tecnología en los procedimientos quirúrgicos asistidos por robot.

DISCUSIÓN

En la revisión sistemática, se evaluaron las ventajas y limitaciones de tecnologías avanzadas como la asistencia computarizada, la cirugía robótica, las guías personalizadas y los sistemas de navegación en la artroplastia de rodilla. Los hallazgos se analizaron en términos de precisión quirúrgica, complicaciones postoperatorias y estabilidad del implante, con el objetivo de determinar si estas innovaciones realmente superan a las técnicas convencionales en la práctica clínica actual.

Los estudios revisados evidencian que las tecnologías asistidas por computadora y la cirugía robótica mejoran de manera significativa la precisión en la alineación protésica en comparación con los métodos convencionales. Franceschi et al.,⁽¹⁹⁾ y Siu et al.,⁽²⁵⁾ destacan que el uso de guías personalizadas y sistemas de navegación optimiza la colocación de los implantes, optimizando la alineación y reduciendo complicaciones postoperatorias al preservar la integridad ósea.

Además, Meijer et al.,⁽²⁰⁾ reportaron una mejor alineación en procedimientos de revisión de artroplastia total de rodilla (ATR) utilizando CAC frente a guías mecánicas, mientras que de Laoruengthana et al.,⁽²⁶⁾ demostraron que los sistemas de navegación basados en acelerómetros mejoran la

precisión del eje mecánico en artroplastias bilaterales de rodilla. Estos hallazgos refuerzan la efectividad de las tecnologías avanzadas en procedimientos complejos, sugiriendo que estas innovaciones no solo mejoran la precisión quirúrgica, sino que también podrían tener un impacto positivo en la reducción de complicaciones y en la supervivencia a largo plazo de los implantes.^(34,35)

No obstante, al considerar la funcionalidad a corto plazo, los resultados entre las distintas tecnologías y las técnicas convencionales no son tan consistentes. Denti et al.,⁽²⁴⁾ observaron que, a pesar de la mejora en precisión proporcionada por CAC, no hay diferencias significativas en los resultados funcionales a corto plazo entre los pacientes que recibieron artroplastia total de rodilla (ATR) convencional y aquellos tratados con CAC. En contraste Fary et al.,⁽³⁰⁾ encontraron que la cirugía robótica puede facilitar una recuperación temprana, con mejores rangos de movimiento y menor dolor postoperatorio en comparación con las técnicas convencionales, lo que sugiere beneficios funcionales iniciales. Esto indica que, aunque la tecnología puede mejorar la precisión quirúrgica, los resultados funcionales a corto plazo pueden depender en gran medida de otros factores, como la calidad de la rehabilitación postoperatoria y las características individuales de los pacientes.⁽³⁶⁾ Ambos estudios coinciden en que se necesita un seguimiento a largo plazo para confirmar si estas mejoras iniciales se mantienen, ya que las conclusiones actuales se basan en datos limitados.

En cuanto a la supervivencia de la prótesis, Dyrhovden et al.,⁽²²⁾ concluyeron que no hay diferencia significativa en las tasas generales de revisión entre la cirugía asistida por computadora (CAC) y la cirugía convencional en artroplastia total de rodilla (ATR). Sin embargo, la CAC mostró una reducción en las revisiones debido a mala alineación protésica, lo que resalta su ventaja en asegurar una colocación precisa del implante. Por otro lado, Lychagin et al.,⁽³³⁾ demostraron que el uso de robótica en ATR se asocia con una mayor tasa de supervivencia de la prótesis en comparación con CAC y métodos convencionales. Este resultado se atribuye a las características específicas de esta tecnología en la ATR, como su precisión milimétrica, que permite un ajuste personalizado a la anatomía del paciente, reduciendo las fuerzas anormales y el aflojamiento y mejorando la integración ósea.^(37,38)

En cuanto a las complicaciones postoperatorias, los estudios revisados muestran que las tecnologías avanzadas, como la navegación computarizada y la cirugía robótica, pueden ofrecer beneficios frente a los métodos tradicionales. Kuo et al.,⁽²¹⁾ demostraron que los pacientes sometidos a ATR con navegación computarizada presentaron menor pérdida de sangre y niveles reducidos de moléculas de adhesión celular, lo que sugiere una respuesta inflamatoria menor y una recuperación más rápida en comparación con la artroplastia convencional. Además, Siu et al.,⁽²⁵⁾ encontraron que estas tecnologías pueden reducir marcadores trombóticos, como el dímero-D, lo que implica una disminución en las complicaciones trombóticas y una mejora en la seguridad del paciente.

Este hallazgo es relevante, ya que muestra que las tecnologías avanzadas no solo optimizan la preci-

sión quirúrgica, sino que también contribuyen a la reducción de riesgos sistémicos. En el análisis de infecciones periprotésicas, Burgio et al.,⁽³²⁾ en un estudio retrospectivo, evaluaron pacientes sometidos a TKA asistida por el sistema robótico NAVIO y encontraron una baja tasa de infecciones en un seguimiento a corto plazo. Esto apoya la eficacia y seguridad de esta tecnología en comparación con las técnicas convencionales, lo que evidencia que la tecnología robótica puede ofrecer ventajas específicas en la prevención de complicaciones infecciosas.

Sin embargo, a pesar de estos resultados favorables, existen diferencias en los hallazgos entre las distintas tecnologías y tipos de procedimientos. Por ejemplo, Ofa et al.,⁽³⁹⁾ encontraron que en TKA asistida por robótica se observan menores tasas de revisión, menor necesidad de manipulaciones bajo anestesia y una reducción en el uso de opiáceos para el manejo del dolor postoperatorio. De hecho, se ha observado que, a pesar de los avances en la técnica quirúrgica y el tratamiento postoperatorio, hasta un 20 % de los pacientes de ATR siguen insatisfechos.⁽⁴⁰⁾ Esto sugiere que el impacto de las tecnologías robóticas varía según el tipo de procedimiento y el perfil del paciente, lo que resalta la necesidad de realizar análisis específicos para cada contexto clínico.

Por lo tanto, es importante tener en cuenta que, aunque estas innovaciones tecnológicas representan un avance importante en la medicina, la gestión postoperatoria sigue siendo fundamental para el éxito de la artroplastia. Las estrategias deben enfocarse no solo en la adopción de nuevas tecnologías, sino también en el desarrollo de sistemas de soporte integral que aseguren el éxito postoperatorio, considerando también el impacto económico en la implementación de estas estrategias.

Limitaciones

Una de las principales limitaciones de la revisión es la heterogeneidad de los estudios incluidos, que utilizan diferentes metodologías para evaluar los resultados clínicos y funcionales de la artroplastia. Aunque muchos estudios muestran mejoras en la precisión quirúrgica y en ciertos resultados clínicos, las diferentes escalas y herramientas de evaluación empleadas dificultan la comparación directa de los resultados. Además, la mayoría de los estudios se centran en resultados a corto plazo, por lo que se requiere un seguimiento más prolongado para determinar el impacto real de estas tecnologías en la longevidad de los implantes y en la calidad de vida de los pacientes.

Otra limitación es la falta de estudios que incluyan una mayor diversidad geográfica. La mayoría de los estudios revisados provienen de instituciones de alto nivel en países desarrollados, lo que podría no reflejar completamente la aplicabilidad de estas tecnologías en entornos con menos recursos. Esto subraya la necesidad de realizar estudios que evalúen la viabilidad y efectividad de estas tecnologías en diferentes contextos clínicos y geográficos.

CONCLUSIONES

Esta revisión muestra que la asistencia computarizada y la cirugía robótica mejoran la precisión en artroplastia de rodilla y cadera, aunque los resultados funcionales y la satisfacción del paciente a corto plazo no siempre reflejan estos avances.

Factores como la rehabilitación y las características individuales influyen en los resultados. Si bien estas tecnologías reducen complicaciones postoperatorias, sus beneficios no son uniformes para todos los pacientes. Además, el alto costo limita su acceso en sistemas de salud con menos recursos, destacando la necesidad de evaluaciones costo-beneficio detalladas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Laskin RS. Total Knee Replacement [Internet]. London: Springer; 1991 [citado 8 Oct 2024]. Disponible en: [10.1007/978-1-4471-1825-1_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1825-1_1)
2. Sierakowski A, Zweifel C, Sirotakova M, Sauerland S, Elliot D. Joint replacement in 131 painful osteoarthritic and post-traumatic distal interphalangeal joints. *J Hand Surg Eur* [Internet]. 2012 [citado 8 Oct 2024]; 37(4):304–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1753193411422679>
3. Hernigou P. Earliest times before hip arthroplasty: from John Rhea Barton to Themistocles Glück. *Int Orthop* [Internet]. 2013 [citado 8 Oct 2024];37(11):2313–8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2004-4>
4. Singh V, Teo GM, Long WJ. Versatility and accuracy of a novel image-free robotic-assisted system for total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg* [Internet]. 2021 [citado 8 Oct 2024];141(12):2077–86. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04049-x>
5. Bramhe S, Pathak SS. Robotic Surgery: A Narrative Review. *Cureus* [Internet]. 2022 [citado 8 Oct 2024];14(9): e29179. Disponible en: <https://doi.org/10.7759/cureus.29179>
6. Culliford D, Maskell J, Judge A, Cooper C, Prieto-Alhambra D, Arden NK. Future projections of total hip and knee arthroplasty in the UK: results from the UK Clinical Practice Research Datalink. *Osteoarthritis Cartilage* [Internet]. 2015 [citado 8 Oct 2024];23(4):594–600. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.12.022>
7. Reina N, Putman S, Desmarchelier R, Sari Ali E, Chiron P, Ollivier M; et al. Can a target zone safer than Lewinnek’s safe zone be defined to prevent instability of total hip arthroplasties? Case-control study of 56 dislocated THA and 93 matched controls. *Orthop Traumatol Surg Res* [Internet]. 2017 [citado 8 Oct 2024];103(5):657–61. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.05.015>
8. Haddad FS. Periprosthetic fractures: more challenges ahead. *Bone Jt J* [Internet]. 2020 [citado 8 Oct 2024];102-B(5):547–9. Disponible en: <http://revistaamc.sld.cu/>

<https://doi.org/10.1302/0301-620X.102B5.BJJ-2020-0427>

9. Overmann AL, Aparicio C, Richards JT, Mutreja I, Fischer NG, Wade SM; et al. Orthopaedic osseointegration: Implantology and future directions. *J Orthop Res* [Internet]. 2020 [citado 8 Oct 2024];38(7):1445–54. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jor.24576>

10. Gareb B, Van Bakelen NB, Vissink A, Bos RM, Van Minnen B. Titanium or Biodegradable Osteosynthesis in Maxillofacial Surgery? In Vitro and In Vivo Performances. *Polymers* [Internet]. 2022 [citado 2024 Oct 8];14(14):2782. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym14142782>

11. Goh GS, Lohre R, Parvizi J, Goel DP. Virtual and augmented reality for surgical training and simulation in knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg* [Internet]. 2021 [citado 8 Oct 2024];141(12):2303–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04037-1>

12. Callupe I, Aybar A, Morales-Gallo P, Morales-Covarrubias P, Cubas WS. Uso de biomodelos impresos en 3D para la planificación preoperatoria de artroplastia total de cadera luego de fractura acetabular: reporte de un caso. *Rev Colomb Ortop Traumatol* 2023 [citado 8 Oct 2024];37(2): e22–e22. Disponible en: <https://doi.org/10.58814/01208845.22>

13. Zhakeyev A, Wang P, Zhang L, Shu W, Wang H, Xuan J. Additive Manufacturing: Unlocking the Evolution of Energy Materials. *Adv Sci Weinh Baden-Wurttt Ger* [Internet]. 2017 [citado 8 Oct 2024];4(10):1700187. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/advs.201700187>

14. Lee LS, Chan PK, Wen C, Fung WC, Cheung A, Chan VWK; et al. Artificial intelligence in diagnosis of knee osteoarthritis and prediction of arthroplasty outcomes: a review. *Arthroplasty* [Internet]. 2022 [citado 8 Oct 2024];4(1):16. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s42836-022-00118-7>

15. Heijink A, Gomoll AH, Madry H, Drobnič M, Filardo G, Espregueira-Mendes J; et al. Biomechanical considerations in the pathogenesis of osteoarthritis of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2012 [citado 8 Oct 2024];20(3):423–35. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1818-0>

16. Shichman I, Roof M, Askew N, Nherera L, Rozell JC, Seyler TM; et al. Projections and Epidemiology of Primary Hip and Knee Arthroplasty in Medicare Patients to 2040-2060. *JBJS Open Access* [Internet]. 2023 [citado 8 Oct 2024];8(1):e22.00112. Disponible en: <https://doi.org/10.2106/JBJS.OA.22.00112>

17. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Racial disparities in total knee replacement among Medicare enrollees--United States, 2000-2006 [updated 2009 Feb 20; cited 2002 Nov 23] .Morbidity and Mortality Weekly Report . Disponible en: <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5806a1.htm>

18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Ann Intern Med* [Internet]. 2009 [citado 8 Oct 2024];151

(4):264–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

19. Franceschi JP, Sbihi A. 3D templating and patient-specific cutting guides (Knee-Plan®) in total knee arthroplasty: Postoperative CT-based assessment of implant positioning. *Orthop Traumatol Surg Res* [Internet]. 2014 [citado 8 Oct 2024];100(6, Supplement): S281–6. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.04.003>

20. Meijer MF, Stevens M, Boerboom AL, Bulstra SK, Reininga IH. The influence of computer-assisted surgery on rotational, coronal and sagittal alignment in revision total knee arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2014 [citado 8 Oct 2024];15(1):94. Disponible en:

<https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-94>

21. Kuo SJ, Wang FS, Wang CJ, Ko JY, Chen SH, Siu KK. Effects of Computer Navigation versus Conventional Total Knee Arthroplasty on Endothelial Damage Marker Levels: A Prospective Comparative Study. *PLOS ONE* [Internet]. 2015 [citado 8 Oct 2024];10(5):e0126663. Disponible en:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126663>

22. Dyrhovden GS, Fenstad AM, Furnes O, Gøthesen Ø. Survivorship and relative risk of revision in computer-navigated versus conventional total knee replacement at 8-year follow-up: A study of 23,684 cases reported to the Norwegian Arthroplasty Register, 2005–2014. *Acta Orthop* [Internet]. 2016 [citado 8 Oct 2024];87(6):592. Disponible en:

<https://doi.org/10.1080/17453674.2016.1244884>

23. Dunbar MJ, Laende EK, Collopy D, Richardson CG. Stable migration of peri-apatite-coated uncemented tibial components in a multicentre study. *Bone Jt J* [Internet]. 2017 [citado 8 Oct 2024];99-B(12):1596–602. Disponible en:

<https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B12.BJJ-2016-1118.R2>

24. Denti M, Soldati F, Bartolucci F, Morengi E, Girolamo LD, Randelli P. Conventional versus Smart Wireless Navigation in Total Knee Replacement: Similar Outcomes in a Randomized Prospective Study. *Joints* [Internet]. 2018 [citado 8 Oct 2024]; 06:90–4. Disponible en:

<https://doi.org/10.1055/s-0038-1660813>

25. Siu KK, Wu KT, Ko JY, Wang FS, Chou WY, Wang CJ; et al. Effects of computer-assisted navigation versus the conventional technique for total knee arthroplasty on levels of plasma thrombotic markers: a prospective study. *Biomed Eng OnLine* [Internet]. 2019 [citado 8 Oct 2024];18(1):99. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12938-019-0717-3>

26. Laoruengthana A, Rattanaprichavej P, Tantimethanon T, Eiamjumras W, Teekaweerakit P, Pongpirul K. Usefulness of an accelerometer-based navigation system in bilateral one-stage total knee arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2021 [citado 8 Oct 2024];22(1):164. Disponible en:

<https://doi.org/10.1186/s12891-021-04027-9>

27. Nan S, Cao Z, Song Y, Kong X, Li H, Chai W. Can mobile-bearing unicompartmental knee arthroplasty achieve natural gap-balancing? An observational study with a novel pressure sensor. *J Orthop Surg* [Internet]. 2022 [citado 8 Oct 2024];17(1):407. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03255-6>
28. Hernandez-Vaquero D, Noriega-Fernandez A, Roncero-Gonzalez S, Ruete-Gil GL, Fernandez-Carreira JM. Can the need for soft tissue release in total knee replacement be predicted preoperatively? A study based on surgical navigation. *Int Orthop* [Internet]. 2022 [citado 8 Oct 2024];46(4):815–21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-021-05263-3>
29. Maniar RN, Bhatnagar N, Bidwai R, Dhiman A, Chanda D, Sanghavi N. Comparison of Patellofemoral Outcomes between Attune and PFC Sigma Designs: A Prospective Matched-Pair Analysis. *Clin Orthop Surg* [Internet]. 2021 [citado 8 Oct 2024];14(1):96. Disponible en: <https://doi.org/10.4055/cios20130>
30. Fary C, Cholewa J, Ren AN, Abshagen S, Anderson MB, Tripuraneni K. Multicenter, prospective cohort study: immediate postoperative gains in active range of motion following robotic-assisted total knee replacement compared to a propensity-matched control using manual instrumentation. *Arthroplasty* [Internet]. 2023 [citado 8 Oct 2024];5(1):62. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s42836-023-00216-0>
31. Jung HJ, Kang MW, Lee JH, Kim JI. Learning curve of robot-assisted total knee arthroplasty and its effects on implant position in asian patients: a prospective study. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2023 [citado 8 Oct 2024];24(1):332. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06422-w>
32. Burgio C, Bosco F, Rovere G, Giustra F, Lo Bue G, Petillo A; et al. Early and delayed periprosthetic joint infection in robot-assisted total knee arthroplasty: a multicenter study. *Eur J Orthop Surg Traumatol* [Internet]. 2024 [citado 8 Oct 2024];34(6):3155–62. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00590-024-04043-0>
33. Lychagin AV, Gritsyuk AA, Elizarov MP, Rukin YA, Gritsyuk AA, Gavlovsky MY; et al. Short-Term Outcomes of Total Knee Arthroplasty Using a Conventional, Computer-Assisted, and Robotic Technique: A Pilot Clinical Trial. *J Clin Med* 2024 [citado 8 Oct 2024];13(11):3125. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/jcm13113125>
34. Joo PY, Chen AF, Richards J, Law TY, Taylor K, Marchand K; et al. Clinical results and patient-reported outcomes following robotic-assisted primary total knee arthroplasty: a multicentre study. *Bone Jt Open* [Internet]. 2022 [citado 8 Oct 2024];3(7):589–95. Disponible en: <https://doi.org/10.1302/2633-1462.37.BJO-2022-0076.R1>
35. Mitchell J, Wang J, Bukowski B, Greiner J, Wolford B, Oyer M; et al. Relative Clinical Outcomes <http://revistaamc.sld.cu/>

Comparing Manual and Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty at Minimum 1-Year Follow-up. HSS Journal[Internet]. 2021 [citado 8 Oct 2024];17(3):267–73. Disponible en:

<https://doi.org/10.1177/15563316211028568>

36. Scaturro D, Vitagliani F, Caracappa D, Tomasello S, Chiaramonte R, Vecchio M; et al. Rehabilitation approach in robot assisted total knee arthroplasty: an observational study. BMC Musculoskelet Disord [Internet].2023 [citado 8 Oct 2024];24(1):140. Disponible en:

<https://doi.org/10.1186/s12891-023-06230-2>

37. Rodríguez-González FA, Bartrina-Tarrio A, Gómez-Muñoz E, Garríguez-Pérez D, Echevarría-Marin M, Llanos S; et al. Resultados clínicos de artroplastia total de cadera asistida por brazo robótico en España: estudio preliminar. Rev Esp Cir Ortopédica Traumatol [Internet]. 2024 [citado 8 Oct 2024];68(2):108–20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recot.2023.05.009>

38. Sherman WF, Wu VJ. Robotic Surgery in Total Joint Arthroplasty: A Survey of the AAHKS Membership to Understand the Utilization, Motivations, and Perceptions of Total Joint Surgeons. J Arthroplasty [Internet].2020 [citado 8 Oct 2024];35(12):3474-3481.e2. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.06.072>

39. Ofa SA, Ross BJ, Flick TR, Patel AH, Sherman WF. Robotic Total Knee Arthroplasty vs Conventional Total Knee Arthroplasty: A Nationwide Database Study. Arthroplasty Today [Internet].2020 [citado 8 Oct 2024];6(4):1001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.artd.2020.09.014>

40. Laverdière C, Corban J, Khoury J, Ge SM, Schupbach J, Harvey EJ; et al. Augmented reality in orthopaedics: a systematic review and a window on future possibilities. Bone Jt J [Internet]. 2019 [citado 8 Oct 2024];101-B(12):1479–88. Disponible en:

<https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B12.BJJ-2019-0315.R1>

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Paulo Telenchana-Chimbo (Conceptualización, Análisis formal, Supervisión, Validación, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición).

Estefanía Criollo-Guerrero (Conceptualización, Investigación, Metodología, Visualización, Redacción – revisión y edición).

Esteban Cruz-Anguieta (Curación de datos, Investigación, Metodología, Visualización, Redacción – borrador original).

Camila Flores-Sánchez (Curación de datos, Investigación, Metodología, Visualización, Redacción – borrador original).