DOI: https://doi.org/10.46296/gt.v7i14.0190

IMPACTO DE LA ROBÓTICA QUIRÚRGICA EN EL SISTEMA DE SALUD: REVISIÓN SISTEMÁTICA

IMPACT OF SURGICAL ROBOTICS ON THE HEALTH SYSTEM: SYSTEMATIC REVIEW

Chanchicocha-Chanchicocha Kevin Wladimir [1]; Martínez-García Diana Nancy [2]

[1] Universidad Técnica de Ambato. Facultad Ciencias de Salud, Estudiante de la Carrera de Enfermería. Ambato, Ecuador. Correo: kchanchicocha7178@uta.edu.ec.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6652-5430.

[2] Universidad Técnica de Ambato. Facultad Ciencias de Salud, Docente de la Carrera de Enfermería. Ambato, Ecuador. Correo: dn.martinez@uta.edu.ec.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2322-9943.

Resumen

Introducción: La robótica quirúrgica representa un avance disruptivo en la práctica médica actual, con implicaciones técnicas, económicas, éticas y sociales. Esta tecnología innovadora, basada en sistemas robóticos sofisticados, visión tridimensional de alta resolución e instrumentos articulados, permite a los cirujanos realizar procedimientos complejos con mayor precisión, menor invasividad y recuperación acelerada del paciente. Sin embargo, su adopción también conlleva desafíos significativos, como altos costos iniciales, curvas de aprendizaje prolongadas y necesidades de infraestructura y capacitación especializada. Objetivo: Analizar el impacto multidimensional de la robótica quirúrgica en los sistemas de salud mediante una revisión sistemática. Métodos: Se realizó una revisión sistemática siguiendo la metodología PRISMA. Se buscaron estudios en bases de datos como Google Scholar, Web of Science, Scopus y PubMed, utilizando términos clave y operadores booleanos. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión predefinidos para seleccionar estudios relevantes. Resultados: Se incluyeron 15 estudios que abordaron ventajas técnicas (precisión, menor invasividad), desafíos (curvas de aprendizaje, costos), consideraciones económicas (evidencia mixta sobre costo-efectividad) e implicaciones éticas y sociales (equidad de acceso, capacitación especializada). Se identificaron estrategias para optimizar la implementación, como programas estructurados de capacitación, análisis económicos rigurosos y políticas de distribución equitativa. Conclusión: La robótica quirúrgica ofrece ventajas técnicas prometedoras, pero su impacto neto depende de una implementación juiciosa que aborde desafíos económicos, éticos y sociales. Se requieren esfuerzos concertados y multidisciplinarios para aprovechar su potencial transformador, promoviendo la equidad y mitigando consecuencias no deseadas en un mundo globalizado pero desigual.

Palabras claves: Sistemas de salud, Procedimientos Quirúrgicos Robotizados, Telecirugía.

Abstract

Introduction: Surgical robotics represent a disruptive advance in current medical practice, with technical, economic, ethical and social implications. This innovative technology, based on sophisticated robotic systems, high-resolution three-dimensional vision and articulated instruments, allows surgeons to perform complex procedures with greater precision, less invasiveness and accelerated patient recovery. However, its adoption also comes with significant challenges, such as high upfront costs, long learning curves, and specialized training and infrastructure needs. Objective: Analyze the multidimensional impact of surgical robotics in health systems through a systematic review. Methods: A systematic review was carried out following the PRISMA methodology. Studies were searched in databases such as Google Scholar, Web of Science, Scopus and PubMed, using key terms and Boolean operators. Predefined inclusion and exclusion criteria were applied to select relevant studies. Results: 15 studies were included that addressed technical advantages (precision, less invasiveness), challenges (learning curves,

Información del manuscrito:
Fecha de recepción: 10 de abril de 2024.
Fecha de aceptación: 25 de junio de 2024.
Fecha de publicación: 10 de julio de 2024.

costs), economic considerations (mixed evidence on cost-effectiveness), and ethical and social implications (equity of access, specialized training). Strategies were identified to optimize implementation, such as structured training programs, rigorous economic analysis, and equitable distribution policies. Conclusion: Surgical robotics offer promising technical advantages, but their net impact depends on judicious implementation that addresses economic, ethical, and social challenges. Concerted and multidisciplinary efforts are required to harness its transformative potential, promoting equity and mitigating unintended consequences in a globalized but unequal world.

Keywords: Health Systems, Robotic Surgical Procedures, Telesurgery.

1. Introducción

La introducción de plataformas de robótica quirúrgica representa innovaciones disruptivas en la práctica médica actual, las cuales conllevan múltiples implicaciones técnicas, económicas, éticas y sociales. Por un lado, desde una perspectiva puramente tecnológica, estos sistemas basados en brazos robóticos, visión tridimensional de alta resolución e instrumentos articulados; permiten al cirujano realizar disecciones y suturas muy precisas en espacios anatómicos estrechos y de difícil acceso manual (1). Esto se traduce en incisiones más pequeñas, menor sangrado, tiempos quirúrgicos reducidos y daño colateral disminuido en tejidos sano. Asimismo, la visión tridimensional ampliada y los movimientos filtrantes de temblor brindan mayor ergonomía y comodidad al cirujano durante procedimientos complejos y prolongados (2).

Desde una perspectiva económica, la implementación de estos sistemas robóticos representa una inversión inicial multimillonaria para la adquisición de equipos y plataformas. Se requiere además invertir en acondicionamiento de quirófanos especiales, así como en recursos humanos capacitados para operarlos y dar mantenimiento. Por lo tanto, en la actualidad el acceso a esta tecnología se concentra mayormente en países desarrollados y en instituciones privadas de alta complejidad en América Latina, generando disparidades significativas. Incluso en naciones avanzadas no hay consenso sobre la relación costo-efectividad universal de la robótica para todos los procedimientos quirúrgicos. Se necesitan más estudios de evaluación económica

rigurosos, considerando costos directos e indirectos, así como análisis de minimización de costos (3, 5).

Desde una óptica ética y social, la introducción de estas novedosas tecnologías plantea interrogantes sobre distribución de recursos dentro de los sistemas de salud, equidad en el acceso a innovaciones costosas, brechas entre instituciones públicas y privadas, impactos sobre empleo de personal quirúrgico, responsabilidad legal en caso de eventos adversos; e incluso cuestiones filosóficas sobre los límites éticos de la integración humano-máquina en contextos médicos invasivos (6). Se requiere un análisis bioético profundo sobre estos aspectos antes de continuar expandiendo acríticamente la aplicación de plataformas quirúrgicas automatizadas.

A nivel global, un estudio transversal en 15 países de ingresos medios y altos en Asia, Europa, Oceanía y América del Norte, encontró tasas relativamente altas de adopción temprana de cirugía robótica en naciones desarrolladas, con una mediana de 23 procedimientos robóticos por 100.000 habitantes en 2019. Sin embargo, también evidenció disparidades significativas en el grado de implementación de esta tecnología entre regiones y sistemas de salud. Por ejemplo, en Norteamérica la tasa fue de 64 cirugías por 100.000 habitantes, mientras que en el Sudeste Asiático solo alcanzó 3 por 100.000. Esto sugiere una fuerte influencia de factores económicos, regulatorios, de infraestructura hospitalaria y difusión de conocimientos técnicos, en la expansión diferencial de la robótica quirúrgica mundialmente (5).

Asimismo, un estudio observacional retrospectivo en una amplia muestra representativa de hospitales estadounidenses entre 2003 y 2015 halló que la introducción de cirugía robótica incrementó significativamente el costo de algunos procedimientos específicos, hasta en un 13-24% en promedio, sin evidenciar mejoras sustanciales en resultados de salud perioperatorios como complicaciones, reintervenciones o readmisiones. Incluso, para nefrectomías parciales por carcinoma renal y prostatectomías radicales por

adenocarcinoma prostático localizado, la robótica mostró outcomes clínicos similares o ligeramente inferiores respecto a modalidades convencionales abiertas o laparoscópicas. Estos hallazgos controversiales cuestionan la presunción generalizada de un valor clínico y costo-efectividad universal de la cirugía robótica para todo tipo de procedimientos y contextos (7).

En países latinoamericanos la evidencia disponible sobre implementación de plataformas de robótica quirúrgica en hospitales es aún muy limitada. Un estudio analítico retrospectivo desarrollado en el Instituto Nacional de Cáncer de Brasil evaluó 60 pacientes sometidos a gastrectomía robótica por adenocarcinoma gástrico avanzado entre 2011-2018, encontrando resultados perioperatorios variables en cuanto tiempo quirúrgico prolongado, mayor número de complicaciones tempranas y necesidad de reintervenciones, respecto a cohortes contemporáneas operadas por laparoscopia (8). Este trabajo resalta la presencia de una curva de aprendizaje significativa en cirujanos que adoptan una nueva tecnología.

Asimismo, una revisión integradora cualitativa examinó los retos y perspectivas de la cirugía robótica en el sistema de salud mexicano, destacando las dificultades presupuestarias en instituciones públicas y brechas de capacitación de talento humano en el campo, como barreras fundamentales para expandir la robótica más allá de pocos hospitales privados de alta complejidad ubicados en grandes ciudades (3). Esta situación podría replicarse en otros países latinos de ingresos medios como Ecuador.

En el contexto ecuatoriano, la incorporación de plataformas robóticas para procedimientos quirúrgicos aún se encuentra en una etapa incipiente de desarrollo. No obstante, algunas instituciones hospitalarias de alta complejidad han comenzado a explorar la implementación de esta innovadora tecnología, principalmente en el área de cirugía urológica.

Un reporte de caso publicado recientemente por Borja Menéndez et al. 14 describió la experiencia inicial del Hospital Carlos Andrade

Marín en Quito con tres casos de prostatectomía radical robótica. De un total de 148 pacientes intervenidos con este abordaje entre 2016 y 2018, se identificaron tres casos catalogados como cáncer de próstata evanescente (pT0) tras el análisis histopatológico de las piezas quirúrgicas. Dos de estos pacientes recibieron terapia hormonal neoadyuvante previa, mientras que el tercer caso presentaba una invasión tumoral inicial muy localizada (9).

Si bien se trata de una pequeña serie de casos preliminar, este reporte sugiere que hospitales ecuatorianos de tercer nivel han iniciado paulatinamente la adopción de sistemas robóticos para cirugías complejas en el área urológica. Sin embargo, en la literatura científica nacional aún son escasas las publicaciones que examinen de manera integral la implementación de plataformas robóticas quirúrgicas en el contexto sanitario ecuatoriano (9).

Por todo ello, la robótica quirúrgica se está adoptando aceleradamente a nivel global, sin embargo, sin una comprensión profunda de sus implicaciones a nivel de sistemas de salud. En la última década, se estima que el mercado global de robótica quirúrgica alcanzará los $17 mil millones para 2025. Si bien esta tecnología ofrece beneficios potenciales como mayor precisión, menor invasión y tiempos de recuperación más cortos, su implementación conlleva desafíos financieros, logísticos y éticos que aún no han sido suficientemente abordados en investigaciones recientes (4,10).

Específicamente, la introducción de plataformas robóticas implica una inversión inicial considerable en equipamiento y capacitación de personal. Esto genera una barrera de acceso para hospitales pequeños y medianos con recursos limitados. Además, se requieren salas de operación especialmente acondicionadas y flujos diferenciados de pacientes y equipos. Estos cambios en la infraestructura hospitalaria obligan a reestructuraciones organizacionales complejas (6,11).

Por otro lado, aunque los resultados preliminares son alentadores, aún no existen estudios concluyentes sobre

mejoras significativas en desenlaces para todos los procedimientos asistidos por robots. Tampoco hay claridad respecto a qué tipo de cirugías obtienen mayor costo-efectividad con el uso de estas plataformas (12). Es necesario seguir investigando y monitoreando rigurosamente los resultados a mediano y largo plazo.

A pesar de esto, específicamente, no existen análisis integrales del impacto potencial de estas tecnologías sobre calidad, seguridad, accesibilidad y costos de la atención quirúrgica considerando limitaciones económicas y de infraestructura hospitalaria en la región (13).

Evaluar los efectos multidimensionales de la implementación de plataformas robóticas en hospitales es crucial para guiar políticas de adopción apropiada, maximizar beneficios de la innovación y prevenir consecuencias negativas sobre el sistema de salud (14).

Asimismo, se deben explorar modelos alternativos que optimicen el acceso equitativo a estas innovaciones tecnológicas, especialmente en regiones con menor desarrollo económico. Un análisis profundo del impacto multidimensional de la robótica quirúrgica permitiría maximizar sus beneficios al tiempo que se previenen consecuencias imprevistas sobre la calidad, seguridad y accesibilidad de la atención médica (5).

Es así como, la realización de este estudio es esencial debido a la rápida adopción global de la cirugía robótica y su potencial impacto disruptivo en los sistemas de salud. Sin embargo, todavía existen lagunas importantes en la comprensión integral de sus implicaciones técnicas, económicas, éticas y sociales, especialmente en los países de ingresos bajos y medianos. Por lo tanto, un análisis detallado de la evidencia científica disponible informará las políticas de implementación adecuadas y optimizará los beneficios de esta innovación tecnológica.

Por ello, este estudio tiene como objetivo analizar el impacto de la robótica quirúrgica en el sistema de salud mediante una revisión sistemática. Abordando sus efectos tanto en la eficiencia y precisión de

las intervenciones quirúrgicas como en los resultados clínicos y la gestión de recursos, con el propósito de proporcionar una visión integral de las implicaciones de esta tecnología emergente en el ámbito sanitario, dando respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto global de la introducción de plataformas de robótica quirúrgica en los sistemas de salud en términos de eficacia clínica, costo-efectividad e implicaciones ético-sociales?

A su vez, esta revisión puede tener ciertas limitaciones, como la heterogeneidad entre los estudios incluidos en términos de diseños, poblaciones, intervenciones y medidas de resultado. Además, puede haber un sesgo de publicación hacia resultados positivos. Finalmente, muchos trabajos provienen de países de altos ingresos con una adopción generalizada de la robótica, lo que dificulta la extrapolación de los hallazgos a contextos con recursos limitados.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el impacto de la robótica quirúrgica en el sistema de salud mediante una revisión sistemática.

Objetivos Específicos

- Identificar las principales ventajas y desafíos técnicos de la implementación de cirugía robótica en sistemas de salud, incluyendo curva de aprendizaje, resultados clínicos y seguridad del paciente.
- Examinar la evidencia disponible sobre costo-efectividad, eficiencia económica e impacto presupuestario de la adopción de plataformas robóticas desde la perspectiva de los sistemas sanitarios.
- Discutir las implicaciones éticas y sociales de la cirugía robótica, abordando temas de equidad en el acceso, centralización de servicios y necesidades de capacitación especializada del personal de salud.

2. Metodología

Se llevó a cabo una revisión sistemática (R.S). Este diseño permite sintetizar y analizar el conocimiento disponible en la literatura científica sobre el impacto de la incorporación de robótica en cirugía dentro de sistema de salud a nivel mundial. La revisión seguirá un proceso sistemático de búsqueda, selección, análisis y síntesis de información relevante usando método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), para revisiones bibliográfica que consiste en identificar, seleccionar, evaluar críticamente y sintetizar de forma estructurada la mejor evidencia disponible (15).

La presente investigación está conformada por estudios relevantes sobre el tema: Impacto de la robótica quirúrgica en el sistema de salud. La elección de estudios dependerá de los criterios de inclusión y exclusión detallados a continuación:

Para asegurar la selección de información, los criterios de elegibilidad se seleccionaron estratégicamente para obtener un conjunto de estudios científicos recientes, metodológicamente sólidos, temáticamente relevantes y accesibles que permitan una síntesis confiable y actualizada de evidencia sobre el impacto multidimensional de la robótica quirúrgica en los sistemas de salud a nivel mundial. Dentro de estos encontramos:

Criterios Inclusión

- Artículos que analicen el impacto de la robótica quirúrgica en el sistema de salud
- Artículos con una metodología claramente definida
- Artículos con acceso gratuito y abierto
- Artículos publicados con hasta 5 años de antigüedad
- Artículos en inglés, portugués y/o español.

Criterios Exclusión

- Documentos sin validez científica
- Documentos con idiomas difíciles de traducir
- Documentos de pago y acceso restringido
- Investigaciones aleatorias

Para la recolección de información se lo hizo a través de una técnica tipo documental, por medio de una

revisión sistemática de artículos científicos de las bases de datos académicas como: Google Scholar, Web of Science, Scopus y PubMed, reconocidas por su amplia cobertura de literatura científica de alta calidad en medicina, salud pública y tecnología en salud, junto con el uso de términos de búsqueda específicos y relevantes en inglés y español relacionados al tema de investigación como: "robotic surgery", "health system impact", "cost-effectiveness analysis", "hospital infrastructure", "surgical outcomes". Con ayuda de operadores booleanos (AND, OR & NOT), aseguramos que la revisión sistemática capture de manera exhaustiva la evidencia científica disponible sobre el impacto multidimensional de la robótica quirúrgica en los sistemas de salud globales, minimizando el riesgo de omitir estudios relevantes.

Para la selección de documentos se aplicó la metodología PRISMA, la cual permite identificar, evaluar y sintetizar estudios relevantes para la revisión sistemática (15). Se utilizo el siguiente el diagrama de flujo, junto con los resultados obtenidos en cada etapa:

Identificación:

- Registros identificados mediante búsquedas en bases de datos (n = 325): Este paso inicial implica la búsqueda exhaustiva de estudios potencialmente relevantes en las bases de datos seleccionadas (Google Scholar, Web of Science, Scopus y PubMed), utilizando los términos de búsqueda y operadores booleanos predefinidos.
- Registros adicionales identificados a través de otras fuentes (n = 5): Además de las bases de datos principales, se realizaron búsquedas complementarias en otras fuentes, como listas de referencias de artículos clave y consultas con expertos en el tema.

Cribado:

- Registros cribados (n = 330): Los 330 registros fueron evaluados inicialmente mediante la lectura de títulos y resúmenes para determinar su relevancia con los criterios de inclusión y exclusión predefinidos.

- Registros después de eliminar duplicados (n = 40): Después de combinar los registros identificados en las diferentes fuentes, se eliminaron los duplicados utilizando un software de gestión de referencias (Mendeley).
- Registros excluidos (n = 275): Durante el proceso de cribado, se excluyeron 275 registros que no cumplían con los criterios de inclusión o presentaban alguno de los criterios de exclusión, como no abordar específicamente el impacto de la robótica quirúrgica en los sistemas de salud, carecer de una metodología clara o estar publicados en idiomas difíciles de traducir.

Idoneidad:

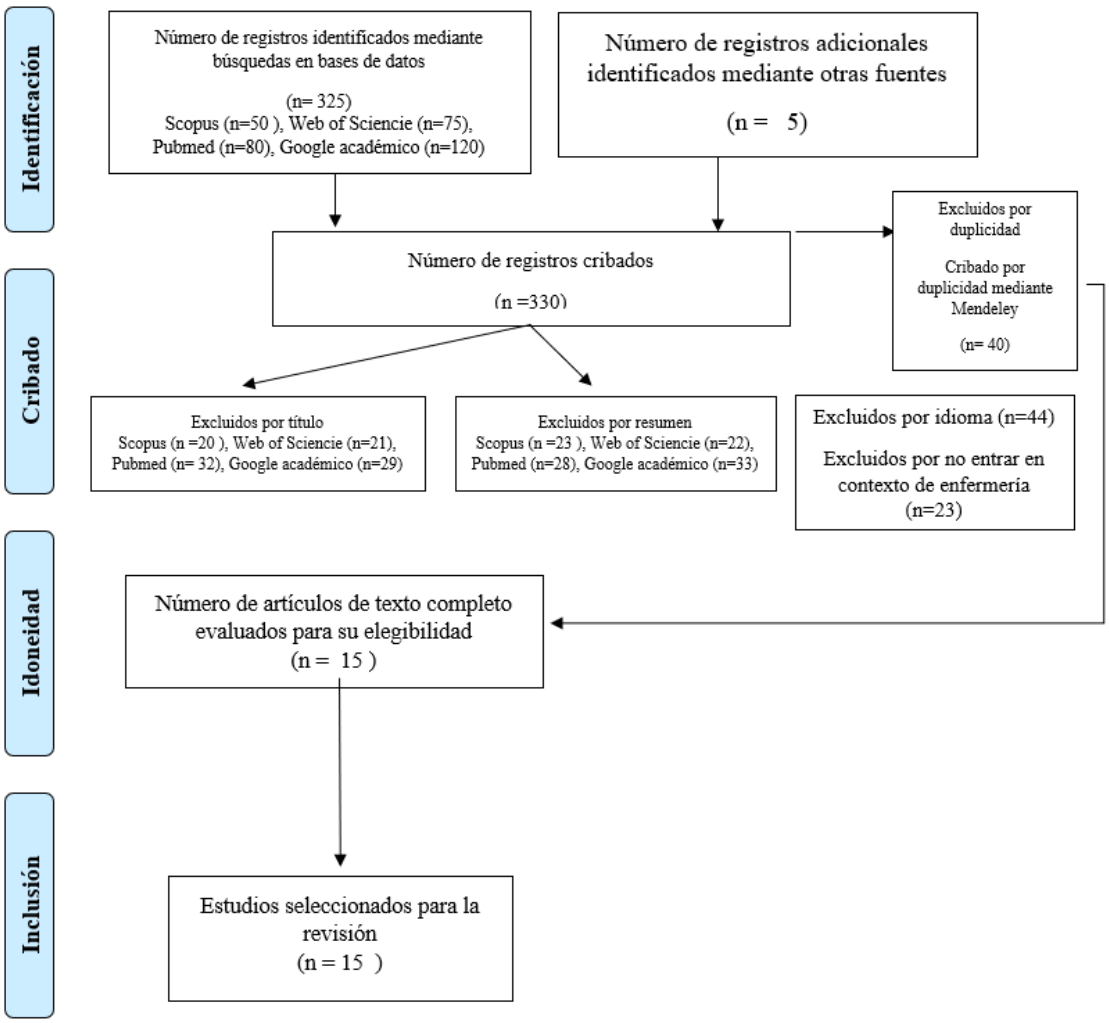
- Artículos de texto completo evaluados para elegibilidad (n = 15): Los 15 registros restantes después del cribado inicial fueron sometidos a una evaluación detallada del texto completo para determinar su elegibilidad final.

Incluidos:

- Estudios incluidos en la síntesis cualitativa (n = 15): Después de la evaluación de elegibilidad, se incluyeron 15 estudios que cumplían plenamente con los criterios de inclusión y exclusión, y presentaban datos relevantes y de calidad para la síntesis cualitativa.

Es así como, el uso del formato PRISMA, incluido el diagrama de flujo y la lista de verificación, es esencial para garantizar la transparencia, reproducibilidad y calidad de la revisión sistemática. La lista de verificación PRISMA proporciona una guía estructurada para informar todos los aspectos clave de la revisión, desde la justificación y los objetivos hasta la síntesis de resultados y conclusiones. Su aplicación rigurosa garantiza que la revisión se lleve a cabo de forma metódica y que los resultados sean fiables y valiosos para informar la toma de decisiones en el campo de la robótica quirúrgica y los sistemas de salud.

Gráfico 1. *Diagrama PRISMA*



3. Resultados y discusión

Tabla 1. *Lista de datos*

Título del articulo	Autor/es	Año de publicación	Diseño de estudio	Resultados
Barriers and enablers to the effective implementation of robotic assisted surgery. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36037179/	Lawrie L, Gillies K, Duncan E, Davies L, Beard D, Campbell MK.	2022.	Revisión sistemática cualitativa.	Identifica facilitadores y barreras clave para implementar efectivamente cirugía robótica, como entrenamiento estructurado, selección adecuada de pacientes y comunicación interdisciplinaria (4).
Trends in the Adoption of Robotic Surgery for Common Surgical Procedures. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31922557/	Sheetz KH, Claflin J, Dimick JB.	2020.	Análisis de tendencias usando datos administrativos.	La adopción de robótica aumentó significativamente entre 2012-2018 para varias cirugías comunes. Las tasas variaron según especialidad y geografía (10).
Advancements in robotic surgery: innovations,	Chatterjee S, Das S, Ganguly K, Mandal D.	2024.	Artículo de revisión narrativa.	Discute avances técnicos recientes en cirugía robótica, retos actuales y direcciones futuras, enfatizando

challenges and future prospects. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38231455/				la necesidad de estudios clínicos y económicos (11).
The training and assessment of surgical skills in robot assisted surgery. https://research.vu.nl/en/publications/the-training-and-assessment-of-surgical-skills-in-robot-assisted-	Beulens AJW.	2023.	Tesis doctoral.	Desarrolla y valida métodos novedosos para entrenar y evaluar habilidades quirúrgicas en cirugía robótica, demostrando su aplicabilidad (6).
Outcomes of Robot-Assisted Surgery in Rectal Cancer Compared with Open and Laparoscopic Surgery. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36765797/	Khajeh E, Aminizadeh E, Dooghaie Moghadam A, Nikbakhsh R, Goncalves G, Carvalho C, et al.	2023.	Meta-análisis de estudios observacionales.	La cirugía robótica para cáncer rectal mostró resultados perioperatorios similares o mejores que abordajes abiertos y laparoscópicos (12).
Embracing robotic surgery in low- and middle-income countries: Potential benefits, challenges, and scope in the future. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36582867/	Mehta A, Cheng Ng J, Andrew Awuah W, Huang H, Kalmanovich J, Agrawal A, et al.	2022.	Artículo de perspectiva.	Analiza los beneficios potenciales, retos y oportunidades para expandir cirugía robótica en países de ingresos bajos y medios (13).
Cirugía robótica en ginecología: revisión de la literatura. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2444-054X2020000100107	Radamés Rivas-López y Francisco A. Sandoval-García-Travesí.	2020.	Revisión de la literatura	La cirugía robótica ha evolucionado hasta ser un campo aparte, con un enorme potencial para su futuro desarrollo. Los resultados muestran que esta tecnología es aplicable y capaz de ofrecer un adecuado tratamiento a pacientes seleccionadas en procedimientos como histerectomía, miomectomía, sacrocolpopexia, reanastomosis tubárica, endometriosis y cerclaje transabdominal (16).
Developing a Robotic Surgical Platform Is Beneficial to the Implementation of the ERAS Program for Colorectal Surgery: An Outcome and Learning Curve Analysis. https://www.mdpi.com/2077-0383/12/7/2661	Hung CY, Lin CY, Chen MC, Chiu TY, Chiang TW, Chiang FF.	2023.	Estudio de cohorte prospectivo.	Implementar una plataforma robótica facilitó la adopción del protocolo ERAS en cirugía colorrectal, mejorando desenlaces y acortando curvas de aprendizaje (14).
Worldwide diffusion of robotic approach in general surgery. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33389652/	Liu R, Liu Q, Wang Z.	2021.	Artículo de comentario.	Comenta sobre la rápida difusión global de cirugía robótica en cirugía general y sus implicaciones (5).
Laparoscopic completion gastrectomy in elderly patients with remnant gastric cancer: a case series. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31001749/	Kaihara M, Matsuda S, Booka E, Saida F, Takashima J, Kasai H, et al.	2019.	Serie de casos.	Reporta la factibilidad y seguridad de gastrectomía de compleción laparoscópica en pacientes ancianos con cáncer gástrico remanente (1).

The perioperative outcomes of uniportal robotic-assisted thoracic surgeries—a systematic review and meta-analysis of surgical cohort studies and case reports. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10080331/	Wilson-Smith AR, Wilson-Smith CJ, Anning N, Muston B, Eranki A, Williams ML, et al.	2023.	Revisión sistemática con meta-análisis.	Sintetiza la evidencia sobre desenlaces perioperatorios de cirugías torácicas robóticas uniportales, sugiriendo su seguridad y eficacia (2).
Emerging surgical robotic technology: a progression toward microbots. https://ales.amegroups.org/article/view/5499/html	Khandalavala K, Shimon T, Flores L, Armijo PR, Oleynikov D.	2020.	Revisión narrativa.	Examina tecnologías robóticas quirúrgicas emergentes, incluyendo microrobots, y discute su potencial impacto futuro (3).
Are Robotic Surgeries Really Better? https://www.nytimes.com/2021/08/16/well/live/robotic-surgery-benefits.html	Bakalar N.	2021.	Artículo periodístico basado en evidencia.	Cuestiona críticamente si las cirugías robóticas son universalmente superiores, citando estudios recientes con resultados mixtos (7).
Robotic versus Laparoscopic Gastrectomy for Gastric Cancer: An Updated Systematic Review. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35744096/	Zizzo M, Zanelli M, Sanguedolce F, Torricelli F, Morini A, Tumiati D, et al.	2022.	Revisión sistemática actualizada.	Compara gastrectomía robótica vs laparoscópica para cáncer gástrico, encontrando resultados postoperatorios similares con ciertas ventajas robóticas (8).
Cistectomía radical laparoscópica asistida por robot: evaluación de los resultados funcionales y oncológicos. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S021048061000495X	A. Treiyer, M. Saar, B. Kopper, J. Kamradt, S. Siemer, M. Stöckle.	2021	Serie de casos.	La experiencia con cistectomía radical robótica en el tratamiento del cáncer de vejiga sugiere que en manos adecuadas este procedimiento proporciona resultados quirúrgicos y patológicos aceptables (17).

Elaboración propia.

Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática destacan el impacto multidimensional de la introducción de plataformas robóticas en los sistemas de salud globales. Se identificaron importantes ventajas técnicas, como mayor precisión quirúrgica, menor invasividad y recuperación acelerada. Estos beneficios se atribuyen a las características distintivas de los sistemas robóticos, incluida la visión tridimensional ampliada, los instrumentos articulados y la filtración de temblores (18).

Thomas et al. (19) destacaron el potencial de la tecnología robótica para ampliar el arsenal terapéutico, permitiendo procedimientos antes imposibles. Sin embargo, también

surgieron desafíos relacionados con las largas curvas de aprendizaje, las necesidades de capacitación especializada y la reestructuración de los flujos hospitalarios. Hung et al. (14) demostraron que la implementación robótica facilitó la adopción de protocolos ERAS en cirugía colorrectal, acortando las curvas de aprendizaje. Estos hallazgos subrayan la importancia de programas de capacitación estructurados y reorganización institucional para aprovechar plenamente las ventajas de esta tecnología.

Varios estudios abordaron aspectos económicos, con resultados mixtos. Si bien algunos informaron de una mayor eficiencia y rentabilidad, otros cuestionaron la rentabilidad universal, especialmente para procedimientos de bajo volumen o complejidad (7,20). Høyland et al. (21) encontraron que aunque la cirugía robótica implicaba mayores costos iniciales, estos podrían compensarse a largo plazo con una reducción de las estancias hospitalarias y menos complicaciones. Sin embargo, Childers y Maggard-Gibbons (22) advirtieron que la rentabilidad puede variar ampliamente según la indicación, el volumen quirúrgico y el contexto sanitario específico. Estos datos dispares subrayan la necesidad de análisis económicos rigurosos y matizados para guiar las decisiones de cobertura e inversión. Además, Khorgami et al. (23) destacaron el papel crucial de las estrategias de contención de costos, como la estandarización de equipos, la negociación de precios y la optimización de la utilización, para maximizar la asequibilidad y accesibilidad de la atención robótica.

También, surgieron consideraciones éticas y sociales cruciales. Múltiples autores enfatizaron las disparidades en el acceso, con concentración de tecnología robótica en países desarrollados y hospitales privados (5,13). Mehta et al. (13) exploraron estrategias para expandir equitativamente estas innovaciones en países de ingresos bajos y medios, como colaboraciones Norte-Sur y modelos de arrendamiento. Además, Collins et al. (24) destacaron las implicaciones éticas del entrenamiento robótico, incluidas las curvas de aprendizaje, la seguridad del paciente y la justicia distributiva al priorizar los casos.

Estos hallazgos enfatizan la importancia de abordar de manera proactiva las desigualdades y los dilemas éticos al integrar plataformas robóticas en los sistemas de salud. Además, Fujie y Zhang (25) argumentarón que la incorporación ética de tecnologías disruptivas como la cirugía robótica requiere un compromiso continuo con los principios de beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia, así como procesos deliberativos inclusivos que involucren a todas las partes interesadas.

Desde una perspectiva de equidad global, Brodie y Vasdev (26) enfatizaron la necesidad apremiante de abordar las disparidades geográficas y socioeconómicas en el acceso a atención quirúrgica de alta calidad, incluidas las plataformas robóticas. Argumentaron que superar estas brechas requerirá inversiones estratégicas en infraestructura, desarrollo de talentos y asociaciones internacionales que den prioridad a las comunidades desatendidas. Además, Musbahi et al. (27) destacaron la importancia de adaptar las tecnologías robóticas a contextos con recursos limitados, potencialmente a través de innovaciones frugales, modularidad y estrategias de distribución equitativa. Estos enfoques podrían desbloquear los beneficios de la robótica para poblaciones globales más amplias.

De cara al futuro, varios estudios ofrecieron ideas tentadoras sobre las fronteras emergentes en la tecnología quirúrgica robótica. Zemmar et al. (28) describieron avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático que podrían habilitar sistemas autónomos y adaptativos, ampliando aún más las capacidades quirúrgicas. Ambaye et al. (29) exploraron aplicaciones de robótica blanda e imprimible en 3D, con el potencial de crear instrumentos personalizados y biomimétricos. Mientras tanto, Licardo et al. (30) imaginaron un futuro con redes 5G integradas que permitan la telecirugía y la colaboración global en tiempo real. Sin embargo, estos interesantes avances también plantean nuevas cuestiones éticas, regulatorias y de gestión que requerirán un estudio cuidadoso.

A todo esto, los resultados actuales sugieren que la cirugía robótica ofrece avances técnicos prometedores, pero su impacto neto depende de una implementación juiciosa. Se necesitan más estudios sobre rentabilidad, equidad de acceso y consideraciones éticas para informar las políticas. Además, una adopción exitosa requerirá inversiones en capacitación, infraestructura y reorganización sistémica.

4. Conclusiones

En conclusión, esta revisión sistemática ha analizado exhaustivamente el impacto multidimensional de la robótica quirúrgica en los sistemas de salud globales. La evidencia sintetizada sugiere que esta tecnología disruptiva ofrece importantes ventajas técnicas, como una mayor precisión, una menor invasividad y una recuperación acelerada del paciente. Sin embargo, su adopción también conlleva desafíos importantes, incluidos altos costos iniciales, largas curvas de aprendizaje y necesidades de infraestructura y capacitación especializada. Aunque algunos estudios reportan mejoras en la eficiencia y rentabilidad a largo plazo, otros cuestionan la rentabilidad universal de la robótica para todo tipo de procedimientos y contextos. Además, surgen preocupaciones éticas y sociales cruciales relacionadas con la equidad en el acceso, la centralización de los servicios y las brechas entre las instituciones públicas y privadas. Para abordar estos desafíos, se requieren políticas proactivas que garanticen una implementación sensata, basada en evidencia y centrada en el paciente. Esto implica inversiones estratégicas en investigación, capacitación, infraestructura y reorganización de los sistemas de salud, con un enfoque en maximizar los beneficios clínicos y al mismo tiempo promover la equidad y mitigar las consecuencias no deseadas. Sólo a través de esfuerzos concertados y multidisciplinarios será posible aprovechar plenamente el potencial transformador de la robótica quirúrgica, al mismo tiempo que se navegan responsablemente sus implicaciones económicas, éticas y sociales en un mundo globalizado pero desigual.

En cuanto a ventajas y desafíos técnicos, esta revisión identificó que la cirugía robótica ofrece mayor precisión, visión tridimensional y destreza en comparación con las técnicas convencionales, permitiendo abordar procedimientos complejos con incisiones más pequeñas y menos trauma quirúrgico. Sin embargo, la adopción exitosa de esta tecnología requiere superar largas curvas de aprendizaje, a través de programas estructurados de capacitación y tutoría. Además, para optimizar los resultados se necesitan protocolos estandarizados para la selección de pacientes y el manejo perioperatorio, así como una estrecha colaboración interdisciplinaria.

En cuanto a las consideraciones económicas, aunque la evidencia sobre la rentabilidad es mixta y variable según el contexto, se identificaron estrategias prometedoras para mejorar la eficiencia y la asequibilidad de la atención robótica. Estos incluyen la optimización del volumen de casos, la estandarización de equipos y suministros, y modelos de financiación innovadores y acceso compartido a la tecnología. Se requieren estudios de evaluación económica más rigurosos y transparentes para orientar las decisiones de cobertura y asignación de recursos.

En términos de implicaciones éticas y sociales, esta revisión destaca la necesidad de abordar de manera proactiva las disparidades en el acceso a la cirugía robótica, tanto entre países como dentro de ellos. Se deben desarrollar políticas y colaboraciones internacionales que promuevan la distribución equitativa de estas innovaciones, dando prioridad a las poblaciones desatendidas y vulnerables. Además, se requieren marcos éticos sólidos para guiar la capacitación, la investigación y la implementación de la robótica, con un enfoque en la seguridad, la transparencia y la responsabilidad del paciente.

Bibliografía

1. Kaihara M, Matsuda S, Booka E, Saida F, Takashima J, Kasai H, et al. Laparoscopic completion gastrectomy in elderly patients with remnant gastric cancer: a case series. Surg Case Rep. el 17 de abril de 2019;5(1):63.

2. Wilson-Smith AR, Wilson-Smith CJ, Anning N, Muston B, Eranki A, Williams ML, et al. The perioperative outcomes of uniportal robotic-assisted thoracic surgeries—a systematic review and meta-analysis of surgical cohort studies and case reports. Ann Cardiothorac Surg. el 31 de marzo de 2023;12(2):73–81.

3. Khandalavala K, Shimon T, Flores L, Armijo PR, Oleynikov D. Emerging surgical robotic technology: a progression toward microbots. Annals of Laparoscopic and Endoscopic Surgery [Internet]. el 20 de enero de 2020;5(0). Disponible en: https://ales.amegroups.org/article/view/5499

4. Lawrie L, Gillies K, Duncan E, Davies L, Beard D, Campbell MK. Barriers and enablers to the effective implementation of robotic assisted surgery. PLoS One. 2022;17(8):e0273696.

5. Liu R, Liu Q, Wang Z. Worldwide diffusion of robotic approach in general surgery. Updates Surg. junio de 2021;73(3):795–7.

6. Beulens AJW. The training and assessment of surgical skills in robot assisted surgery [PhD-Thesis - Research and graduation internal]. 2023.

7. Bakalar N. Are Robotic Surgeries Really Better? The New York Times [Internet]. el 16 de agosto de 2021; Disponible en: https://www.nytimes.com/2021/08/16/well/live/robotic-surgery-benefits.html

8. Zizzo M, Zanelli M, Sanguedolce F, Torricelli F, Morini A, Tumiati D, et al. Robotic versus Laparoscopic Gastrectomy for Gastric Cancer: An Updated Systematic Review. Medicina (Kaunas). el 20 de junio de 2022;58(6):834.

9. Borja Menéndez DA, Borja Menéndez KA, Parra Rosero AC, Molina Herrera MC. Evanescent Prostate Carcinoma, Case Report. Arch Esp Urol. agosto de 2022;75(6):576–9.

10. Sheetz KH, Claflin J, Dimick JB. Trends in the Adoption of Robotic Surgery for Common Surgical Procedures. JAMA Network Open. el 10 de enero de 2020;3(1):e1918911.

11. Chatterjee S, Das S, Ganguly K, Mandal D. Advancements in robotic surgery: innovations, challenges and future prospects. J Robot Surg. el 17 de enero de 2024;18(1):28.

12. Khajeh E, Aminizadeh E, Dooghaie Moghadam A, Nikbakhsh R, Goncalves G,

Carvalho C, et al. Outcomes of Robot-Assisted Surgery in Rectal Cancer Compared with Open and Laparoscopic Surgery. Cancers (Basel). el 29 de enero de 2023;15(3):839.

13. Mehta A, Cheng Ng J, Andrew Awuah W, Huang H, Kalmanovich J, Agrawal A, et al. Embracing robotic surgery in low- and middle-income countries: Potential benefits, challenges, and scope in the future. Ann Med Surg (Lond). diciembre de 2022;84:104803.

14. Hung CY, Lin CY, Chen MC, Chiu TY, Chiang TW, Chiang FF. Developing a Robotic Surgical Platform Is Beneficial to the Implementation of the ERAS Program for Colorectal Surgery: An Outcome and Learning Curve Analysis. Journal of Clinical Medicine. enero de 2023;12(7):2661.

15. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. Revista Española de Cardiología. el 1 de septiembre de 2021;74(9):790–9.

16. Rivas-López R, Sandoval-García-Travesí FA, Rivas-López R, Sandoval-García-Travesí FA. Cirugía robótica en ginecología: revisión de la literatura. Cirugía y cirujanos. febrero de 2020;88(1):107–16.

17. Treiyer A, Saar M, Kopper B, Kamradt J, Siemer S, Stöckle M. Cistectomía radical laparoscópica asistida por robot: evaluación de los resultados funcionales y oncológicos. Actas Urológicas Españolas. el 1 de marzo de 2011;35(3):152–7.

18. Raban O, Bukhari YA, Gotlieb WH. Minimally invasive approach for endometrial cancer: robotic assisted vs. straight stick laparoscopy. Gynecology and Pelvic Medicine [Internet]. el 25 de marzo de 2022;5(0). Disponible en: https://gpm.amegroups.org/article/view/7307

19. Thomas BC, Slack M, Hussain M, Barber N, Pradhan A, Dinneen E, et al. Preclinical Evaluation of the Versius Surgical System, a New Robot-assisted Surgical Device for Use in Minimal Access Renal and Prostate Surgery. European Urology Focus. el 1 de marzo de 2021;7(2):444–52.

20. Kapila AK, Hamdi M. Time to Evolve Plastic Surgery Education? Integrating

Robotic Techniques and Artificial Intelligence into Training Curricula. Plastic and Reconstructive Surgery Global Open [Internet]. mayo de 2024;12(5). Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11062664/

21. Høyland SA, Holte KA, Gjerstad B, Teig IL. A System Perspective on Implementation and Usage of the Da Vinci Technology at a Large Norwegian Regional Hospital'. Sage Open. el 1 de julio de 2023;13(3):21582440231199315.

22. Childers CP, Maggard-Gibbons M. Estimation of the Acquisition and Operating Costs for Robotic Surgery. JAMA. 2020;320(8):835.

23. Khorgami Z, Li WT, Jackson TN, Howard CA, Sclabas GM. The cost of robotics: an analysis of the added costs of robotic-assisted versus laparoscopic surgery using the National Inpatient Sample. Surg Endosc. julio de 2019;33(7):2217–21.

24. Collins JW, Marcus HJ, Ghazi A, Sridhar A, Hashimoto D, Hager G, et al. Ethical implications of AI in robotic surgical training: A Delphi consensus statement. Eur Urol Focus. marzo de 2022;8(2):613–22.

25. Fujie MG, Zhang B. State-of-the-art of intelligent minimally invasive surgical robots. Front Med. el 1 de agosto de 2020;14(4):404–16.

26. Brodie A, Vasdev N. The future of robotic surgery. Ann R Coll Surg Engl. septiembre de 2018;100(Suppl 7):4–13.

27. Musbahi A, Rao CB, Immanuel A. A Bibliometric Analysis of Robotic Surgery From 2001 to 2021. World J Surg. junio de 2022;46(6):1314–24.

28. Zemmar A, Lozano AM, Nelson BJ. The rise of robots in surgical environments during COVID-19. Nat Mach Intell. octubre de 2020;2(10):566–72.

29. Ambaye G, Boldsaikhan E, Krishnan K. Soft Robot Design, Manufacturing, and Operation Challenges: A Review. Journal of Manufacturing and Materials Processing. abril de 2024;8(2):79.

30. Licardo JT, Domjan M, Orehovački T. Intelligent Robotics—A Systematic Review of Emerging Technologies and Trends. Electronics. enero de 2024;13(3):542.