



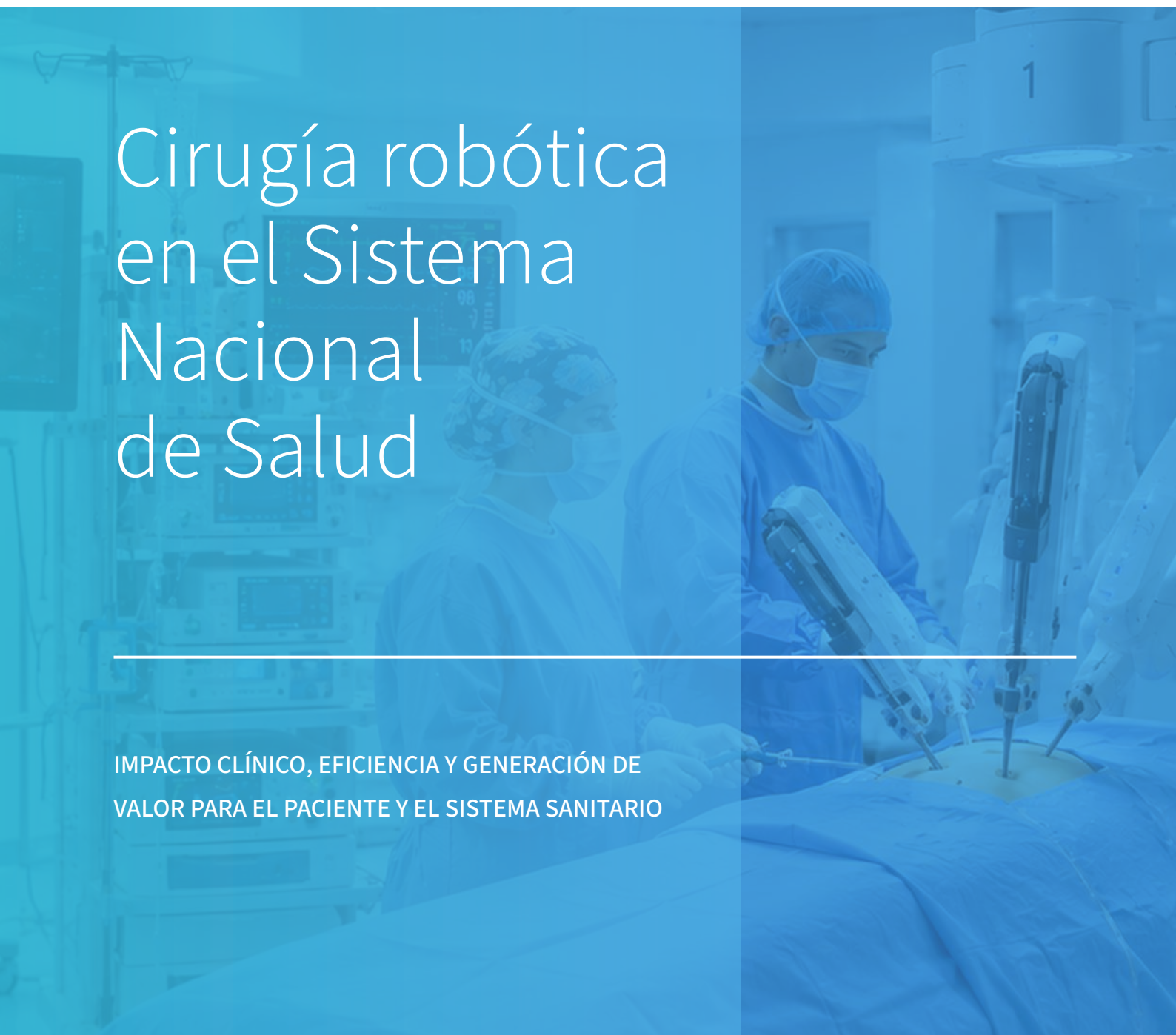
Cátedra Fenin
Tecnología y Salud

INFORME II

INFORMES SOBRE TECNOLOGÍA SANITARIA Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

Cirugía robótica en el Sistema Nacional de Salud

IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE
VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO



Coordinadores

Fernando Bandrés

Presidente de la Fundación Fenin, codirector de la Cátedra Fenin 'Tecnología y Salud', director del Centro de Estudios Gregorio Marañón de la FOM y catedrático de la Facultad de Medicina de la UCM.

Carmen Aláez

Adjunta a la Secretaría General de Fenin y codirectora de la Cátedra Fenin 'Tecnología y Salud'.

Miriam Toca

Técnico del Departamento Regulatorio y de Calidad y coordinadora del Grupo de Robótica de Fenin.

Autores

José M. Balibrea

Jefe de Servicio de Cirugía General y Digestiva del Hospital Germans Trias i Pujol de Badalona y profesor titular de la UAB.

Nicolás Moreno

Jefe de Servicio de Cirugía Torácica del Hospital Universitario Ramón y Cajal de Madrid.

Víctor Díez Nicolás

Jefe de Servicio de Urología del Hospital Universitario Quirónsalud Madrid.

David Noriega

Jefe de Servicio de Traumatología y Cirugía Ortopédica del Hospital Clínico Universitario de Valladolid.

Berta Díaz-Feijoo

Jefa de Servicio de Ginecología del Hospital Clínic de Barcelona.

Comité Científico de la Cátedra Fenin Tecnología y Salud

Ana Pastor

Exministra de Sanidad, exdiputada y vicesecretaria general del PP.

Antoni Ivorra

Coordinador del Grado en Ingeniería Biomédica de la Universidad Pompeu Fabra Full Professor, Serra Hünter and ICREA Acadèmia Fellow Biomedical Electronics Research Group, BCN MedTech.

Antonio Buño

Jefe de servicio de Medicina de Laboratorio del Hospital Universitario La Paz de Madrid.

Beatriz Giraldo

Profesora agregada de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) - Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC), UPC - IBEC.

Carmen Ayuso

Jefa corporativa del departamento de Genética, directora científica del IIS-FJD. Subdirectora de Investigación en el Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz.

Concepción Morales García

Jefa de Servicio de Neumología del Hospital Virgen de las Nieves de Granada.

Guillermo Gervasini Rodríguez

Catedrático de Farmacología en la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Extremadura.

Guillermo Pradés

Director del Departamento de Odontología Conservadora y Prótesis de la Universidad Complutense de Madrid y presidente de la Sociedad Española de Prótesis Estomatológica y Estética(SEPES).

Héctor Sánchez

Director del Instituto de Salud Pública de la Universidad Andrés Bello de Chile.

Inés López-Ibor

Catedrática y directora del Departamento de Psiquiatría de la Universidad Complutense de Madrid.

José María Balibrea

Jefe de Servicio de Cirugía General y Digestiva del Hospital Germans Trias i Pujol de Badalona y secretario del comité científico de la Asociación Española de Cirujanos.

José Soto Bonel

Presidente de SEDISA.

Juan Antonio Vargas

Catedrático y jefe de servicio de Medicina Interna en el Hospital Universitario Puerta de Hierro de Madrid. Ex decano de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).

Julio Mayol

Catedrático de Cirugía de la Universidad Complutense de Madrid, jefe de servicio del Hospital Clínico Universitario de Madrid.

Luis Donoso

Consultor en la Dirección de Investigación e Innovación. Hospital Clínico de Barcelona. Presidente de la Fundación España Salud.

Myriam Leonor Torres Pérez

Decana de la Escuela de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia Colombia (UNAD).

Índice

Resumen ejecutivo 08

- Mensajes clave 08
- Impacto clínico 08
- Seguridad del paciente 08
- Eficiencia y sostenibilidad 08
- Implicaciones para el SNS. Modelo asistencial y organizativo 09
- Recomendaciones estratégicas priorizadas 09
- Base de datos y fuentes 09

1. La cirugía robótica en el contexto actual del Sistema Nacional de Salud: situación real, variabilidad y necesidad de planificación 10

- 1.1 Evolución del modelo quirúrgico. De cirugía abierta a cirugía digital 12
- 1.2 Necesidad de planificación estratégica 12

2. Marco de valor de la cirugía robótica en el SNS: cómo se genera valor clínico y sistémico 14

- 2.1 Resultados clínicos y seguridad del paciente 17
- 2.2 Experiencia del paciente y recuperación funcional 18
- 2.3 Coste-valor, eficiencia y uso de recursos 18
- 2.4 Valor ajustado a riesgo y complejidad 20
- 2.5 Traducción del valor a decisiones sanitarias 21

3. Aportación diferencial de la cirugía robótica: implicaciones prácticas 26

- 3.1 Precisión, visualización y control quirúrgico 29
- 3.2 Ergonomía, estabilidad y rendimiento del cirujano 30
- 3.3 Abordaje mínimamente invasivo en alta complejidad 32
- 3.4 Estandarización, reproducibilidad y calidad técnica 36
- 3.5 Ecosistema tecnológico y cirugía basada en datos 39

4. Proceso asistencial en cirugía robótica: del paciente a la organización 44

4.1	Selección, indicación y decisión multidisciplinar	47
4.2	Preparación del paciente y planificación preoperatoria avanzada	54
4.3	Planificación integrada quirúrgico-anestésica y organización	57
4.4	Ejecución intraoperatoria y manejo postoperatorio (ERAS)	61
4.5	Seguimiento clínico, experiencia del paciente y control del proceso	65

5. Impacto en resultados clínicos: qué mejora y en qué contexto 70

5.1	Impacto en resultados clínicos en Cirugía General y Digestiva	74
5.2	Impacto en resultados clínicos en Urología	108
5.3	Impacto en resultados clínicos en Cirugía Torácica	113
5.4	Impacto en resultados clínicos en Ginecología	120
5.5	Impacto en resultados clínicos en Cirugía Ortopédica y Traumatología	122

6. Escenarios de mayor valor clínico: selección de pacientes e indicaciones prioritarias 128

6.1	Contextos clínicos y procedimientos de mayor impacto	131
6.2	Pacientes con mayor probabilidad de beneficio	132
6.3	Criterios prácticos de indicación quirúrgica	134
6.4	Escenarios de beneficio limitado o sin valor añadido	137
6.5	Priorización estratégica y aplicación en el SNS	139

7. Seguridad del paciente y control del proceso 144

7.1	Principios de seguridad y estandarización del proceso	148
-----	---	-----

7.2	Seguridad perioperatoria y puntos críticos de control	150
7.3	Curva de aprendizaje y competencia profesional	152
7.4	Riesgos específicos y estrategias de mitigación	155
7.5	Cultura de seguridad e impacto en eventos adversos	157

8. Formación y acreditación: garantía de calidad y resultados 160

8.1	Capacitación progresiva y simulación. Entrenamiento clínico e indicación quirúrgica	166
8.2	Acreditación profesional y de centros	167
8.3	Relación formación, volumen y resultados clínicos	168

9. Barreras y palancas de transformación 172

9.1	Barreras estructurales y organizativas	175
9.2	Barreras culturales y profesionales	176
9.3	Fragmentación, inequidad y dependencia local	176
9.4	Palancas de cambio e implementación	177
9.5	Condiciones para implantación sostenible y gestión del riesgo	178

10. Recomendaciones estratégicas para el SNS: de la evidencia a la acción 180

10.1	Pensar en sistema, no solo en centros	183
10.2	Construir programas, no adquirir máquinas	184
10.3	Usar bien la tecnología: criterios, formación y cultura de mejora	185
10.4	Priorizar con criterio y aprender sobre la marcha	185
10.5	Medir lo que importa: indicadores para una evaluación real	186

11. Conclusiones 175

Presentación

La industria sanitaria, junto con las tecnologías asociadas, han sido determinantes y de consecuencias espectaculares para mejorar la esperanza y la calidad de vida y la sociedad del bienestar. Incluso, han determinado cambios acerca de conceptos relativos al dominio del cuerpo o las definiciones de salud y enfermedad. Uno de los ejemplos más representativos de este concepto es la cirugía robótica.

La evolución de la robótica aplicada a la atención sanitaria ha ido transitando, con diferentes nombres, desde los robots no mecánicos, pasando por los de apariencia humanoide, los zoomórficos, los poli articulados o los colaborativos hasta llegar a los exoesqueletos. Todo ello nos lleva a recordar el significado del término robot, utilizado por el autor checo Karel Capek (1890-1938) en su obra de teatro estrenada en 1921 “Robots universales de Rossum” de la palabra robota, que significa “trabajo de siervo”, “trabajo pesado” o, mejor aún, “trabajo duro”.

En el ámbito de la robótica quirúrgica, inicialmente diseñada como asistente del cirujano, ha ido evolucionando hasta llegar a sistemas mucho más complejos que se han ido incorporando paulatinamente a la asistencia sanitaria en áreas como la cirugía general, urológica, pediátrica, ortopédica, neurocirugía o ginecología oncológica, entre otras muchas.

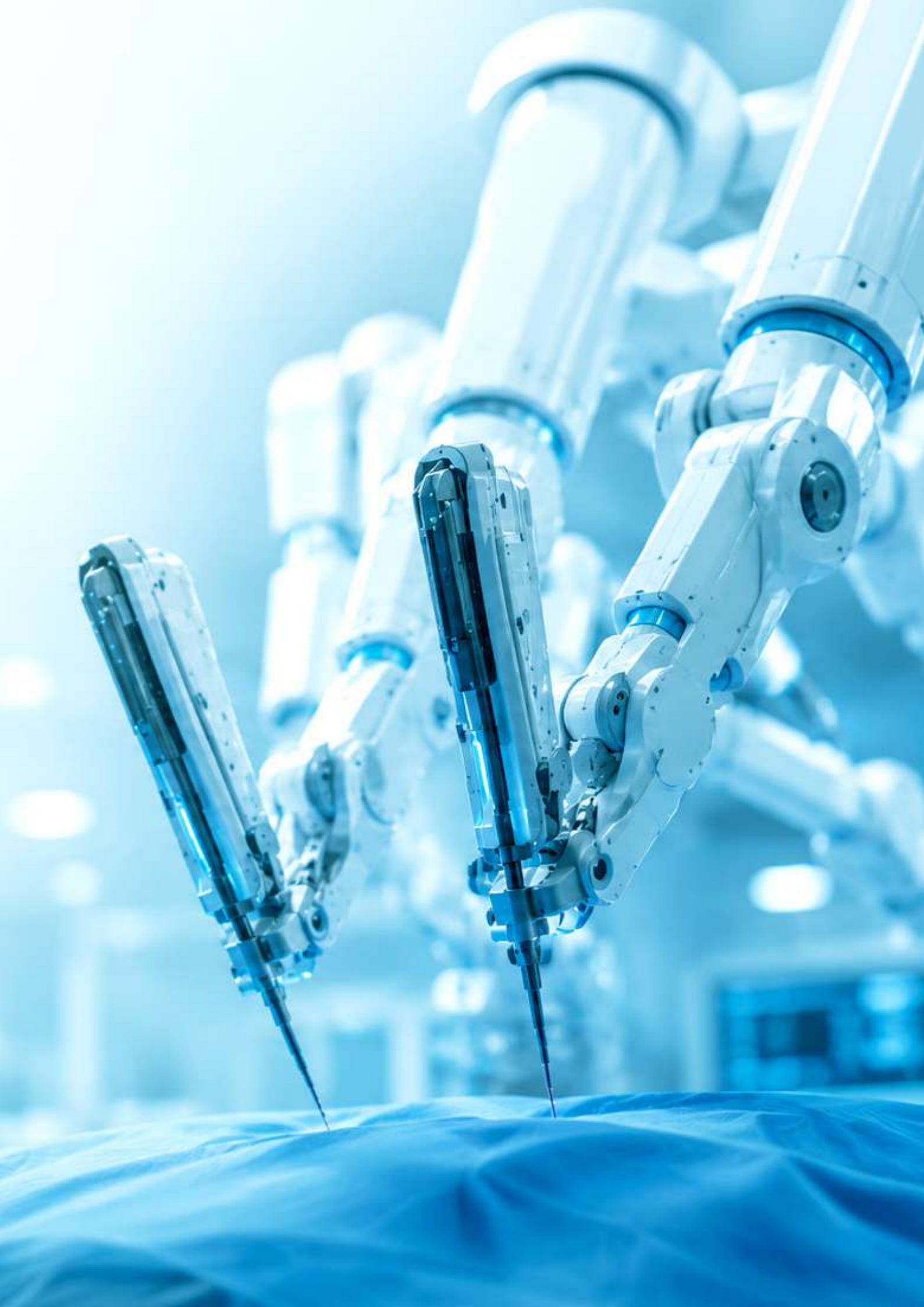
Sistemas que permiten acceder a zonas anatómicas que se pensaban imposibles para hacerlo de forma poco invasiva y con gran precisión anatómica y geométrica. Hoy podemos decir que la cirugía robótica se ha consolidado, está en expansión y se vislumbra su gran impacto en la asistencia sanitaria, al punto de determinar nuevos modelos de organización del proceso asistencial.

Su elevada complejidad técnica también está determinando nuevas curvas de aprendizaje en la formación de los profesionales, así como en la creación de equipos de trabajo de alta cualificación que exigen una nueva formación estructurada.

La experiencia que se va acumulando y la estandarización de procedimientos están siendo determinantes para mejorar la calidad asistencial, la calidad de vida de los pacientes y su seguridad, al punto de que podemos asegurar que los costes asociados a esta compleja tecnología resultan ser una verdadera inversión de presente y futuro.

Al ser la cirugía robótica una de las principales innovaciones tecnológicas de nuestro tiempo, se hacía necesario realizar una valoración actual del “estado del arte” así como elaborar recomendaciones de carácter estratégico. Todo ello nos permitirá vislumbrar el horizonte de los grandes avances que nos han de llegar.

Queda pues plenamente justificado este trabajo en el marco de una cátedra de tecnología y salud, uno de cuyos objetivos es analizar el valor de la transferencia de conocimiento, en el contexto de una sociedad en la que el acto sanitario si bien alcanza una elevada complejidad en nuestro Sistema Nacional de Salud, también está repleto de retos e ilusiones, pues la tecnología sanitaria no tiene sentido si no se piensa en el usuario final: el paciente.



Resumen ejecutivo

La cirugía robótica se ha consolidado como una tecnología relevante, con una implantación creciente en el Sistema Nacional de Salud (SNS). Su valor no reside únicamente en la plataforma tecnológica, sino en su capacidad para integrarse en modelos asistenciales estructurados que mejoren los resultados clínicos, la seguridad del paciente y la eficiencia del sistema.

El análisis conjunto de la evidencia clínica y de los datos de práctica real pone de manifiesto que el impacto de la cirugía robótica es **heterogéneo y dependiente del contexto**, así como condicionado por factores organizativos, volumen de actividad y grado de madurez de los programas.

Este resumen ejecutivo sintetiza los principales hallazgos del informe y orienta la toma de decisiones hacia un modelo basado en valor, evaluación y sostenibilidad.

MENSAJES CLAVE

- La cirugía robótica es una tecnología **consolidada y en expansión**, pero su valor depende del **contexto y no es uniforme**.
- Presenta beneficios consistentes frente a la cirugía abierta, mientras que la comparación con la laparoscopia muestra resultados **más heterogéneos**.
- En la cirugía articular, la incorporación de sistemas robóticos ha posibilitado trasladar la planificación preoperatoria individualizada a una ejecución intraoperatoria de precisión submilimétrica, con márgenes de error angular inferiores a 1.5°.
- Su impacto depende en gran medida de la **indicación clínica, la experiencia del equipo y la organización del proceso asistencial**.
- Existe una **variabilidad en el acceso y en la utilización**, con implicaciones en equidad y eficiencia.
- La generación de valor está **condicionada por factores organizativos, volumen y experiencia**.
- La **formación estructurada y la acreditación** son elementos clave para la seguridad y la generación de valor en cirugía robótica.

IMPACTO CLÍNICO

La evidencia disponible muestra que la cirugía robótica puede:

- **Reducir la agresión quirúrgica** y la pérdida sanguínea frente a cirugía abierta.
- Favorecer una **recuperación más rápida** en determinados procedimientos.
- Mantener o mejorar los resultados clínicos en escenarios de **alta complejidad técnica**.

En conjunto, el impacto clínico es dependiente del procedimiento y del contexto, siendo más relevante en escenarios seleccionados, especialmente los de mayor complejidad.

SEGURIDAD DEL PACIENTE

La cirugía robótica presenta un **perfil de seguridad comparable o favorable** respecto a otros abordajes, siempre que se realice en entornos organizados.

Aspectos clave:

- La tecnología aporta mejoras técnicas, pero introduce exigencias organizativas específicas.
- La seguridad depende fundamentalmente de:
 - › la **experiencia del equipo**,
 - › la **estandarización de procedimientos**,
 - › y la **formación estructurada**.

La evidencia indica que la robótica es **segura**, pero no elimina la necesidad de control riguroso del proceso asistencial.

EFICIENCIA Y SOSTENIBILIDAD

La cirugía robótica implica:

- Incremento de costes por procedimiento en fases iniciales.

Sin embargo:

- El análisis debe realizarse en el conjunto del proceso asistencial, incluyendo complicaciones, estancia hospitalaria y uso de recursos.

La evidencia sugiere que:

- La eficiencia mejora con el **volumen de actividad** y la **experiencia acumulada**.
- La infrautilización de plataformas constituye un riesgo relevante para la sostenibilidad.

IMPLICACIONES PARA EL SNS. MODELO ASISTENCIAL Y ORGANIZATIVO

La incorporación de la cirugía robótica implica **cambios organizativos relevantes en los modelos asistenciales**:

- Requiere estructuras asistenciales coordinadas.
- Implica adaptación de los procesos del bloque quirúrgico.
- Refuerza la necesidad de medición sistemática de resultados.

En el SNS, los principales retos se relacionan con:

- la variabilidad en el acceso,
- la utilización eficiente de los recursos,
- y la evaluación homogénea de resultados.

RECOMENDACIONES ESTRATÉGICAS PRIORIZADAS

Se identifican las siguientes líneas prioritarias:

- 01 Planificación y gobernanza**
 - › Definir criterios claros para la incorporación y el uso de la tecnología.
- 02 Concentración de la experiencia**
 - › Desarrollo de actividad en función del volumen y la complejidad.
- 03 Formación estructurada**
 - › Programas progresivos que integren simulación, entrenamiento y evaluación.
- 04 Evaluación de resultados**
 - › Sistemas de monitorización con indicadores clínicos, funcionales y organizativos.
- 05 Uso eficiente de la tecnología**
 - › Optimización de la utilización de las plataformas disponibles.

06 Equidad y acceso

- › Desarrollo de modelos organizativos que reduzcan desigualdades territoriales.

Estas líneas deben interpretarse como ámbitos de actuación para una implementación evaluable, y no como pautas prescriptivas.

BASE DE DATOS Y FUENTES

Evidencia clínica y datos reales

Este informe se basa en la integración de:

- **Evidencia científica publicada**, incluyendo ensayos clínicos, estudios observacionales y revisiones sistemáticas en diferentes especialidades quirúrgicas.
- **Marcos conceptuales de valor en salud**, centrados en la relación entre resultados clínicos y recursos utilizados.

La combinación de estas fuentes permite ofrecer una visión equilibrada entre evidencia clínica y realidad asistencial.

I Conclusión del resumen ejecutivo

La cirugía robótica representa una tecnología con potencial para mejorar determinados resultados clínicos y organizativos, especialmente en contextos de mayor complejidad.

Su valor no es uniforme ni inherente a la tecnología, sino que depende de su integración en modelos asistenciales adecuados.

El reto para el SNS es **garantizar una incorporación alineada con criterios de evaluación, organización y sostenibilidad**.

INFORME II

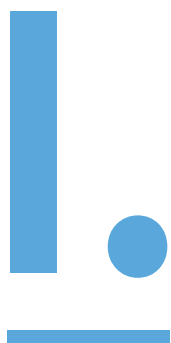
CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

I. La cirugía robótica en el contexto actual del Sistema Nacional de Salud: situación real, variabilidad y necesidad de planificación.

- 1.1** Evolución del modelo quirúrgico.
De cirugía abierta a cirugía digital
- 1.2** Necesidad de planificación estratégica



La cirugía robótica
en el contexto
actual del Sistema
Nacional de Salud



La cirugía robótica en el contexto actual del Sistema Nacional de Salud: situación real, variabilidad y necesidad de planificación

La cirugía robótica se ha consolidado como una de las principales innovaciones tecnológicas en el ámbito de la cirugía mínimamente invasiva en las últimas dos décadas. Su incorporación progresiva al Sistema Nacional de Salud ha dado lugar a un modelo asistencial en evolución, caracterizado por un crecimiento sostenido, una implantación heterogénea y una creciente necesidad de evaluación y planificación estratégica.

1.1. EVOLUCIÓN DEL MODELO QUIRÚRGICO. DE CIRUGÍA ABIERTA A CIRUGÍA DIGITAL.

La evolución de la cirugía en las últimas décadas ha estado marcada por una transición progresiva desde la cirugía abierta hacia modelos cada vez menos invasivos, impulsados por el desarrollo tecnológico y la búsqueda de mejores resultados clínicos y funcionales.

En este contexto, la cirugía robótica representa un paso adicional dentro del proceso de digitalización de la cirugía. Aporta nuevas capacidades técnicas —visualización tridimensional, articulación instrumental avanzada, filtrado de temblor y planificación biomecánica— que han permitido ampliar las posibilidades de la cirugía mínimamente invasiva, especialmente en procedimientos complejos.

No obstante, esta evolución no implica una sustitución de los abordajes previos, sino una coexistencia de técnicas cuya utilización depende de factores clínicos, técnicos y organizativos, configurando un modelo quirúrgico híbrido.

1.2. NECESIDAD DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

El crecimiento de la cirugía robótica en el SNS pone de manifiesto la necesidad de avanzar hacia modelos de planificación más estructurados.

El reto no reside únicamente en gestionar la expansión de la tecnología, sino en integrar su utilización dentro de marcos organizativos que permitan maximizar su impacto clínico y garantizar un uso eficiente de los recursos.

En este contexto, la planificación estratégica debe abordar aspectos como:

- definición de criterios de incorporación tecnológica,
- concentración de la experiencia en función del volumen y la complejidad,
- desarrollo de programas formativos estructurados,
- establecimiento de sistemas de monitorización de resultados,
- y desarrollo de modelos de gobernanza compatibles con la evaluación y la sostenibilidad.

Este enfoque permite desplazar el análisis desde la adopción tecnológica hacia la gestión del valor generado en el conjunto del proceso asistencial.

“El crecimiento de la cirugía robótica en el SNS pone de manifiesto la necesidad de avanzar hacia modelos de planificación más estructurados”



INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

II. Marco de valor de la cirugía robótica en el SNS: cómo se genera valor clínico y sistémico

- 2.1 Resultados clínicos y seguridad del paciente
- 2.2 Experiencia del paciente y recuperación funcional
- 2.3 Coste-valor, eficiencia y uso de recursos
- 2.4 Valor ajustado a riesgo y complejidad
- 2.5 Traducción del valor a decisiones sanitarias



Marco de valor de
la cirugía robótica
en el SNS



Marco de valor de la cirugía robótica en el SNS: cómo se genera valor clínico y sistémico

Este capítulo define cómo la cirugía robótica genera valor en el SNS al integrar resultados clínicos, experiencia del paciente, eficiencia y sostenibilidad. No debe entenderse como la mera adquisición de una plataforma, sino como un modelo asistencial basado en indicación, seguridad, formación, medición y gobernanza. Su expansión ha sido rápida en distintos procedimientos quirúrgicos, con desplazamiento de otras formas de cirugía mínimamente invasiva en algunos entornos [1]. La cuestión, por tanto, no es la mera disponibilidad de la tecnología ni su grado de adopción, sino cómo garantizar que su utilización se realice con indicaciones adecuadas, bajo condiciones organizativas seguras y con resultados clínicos, funcionales y económicos medibles.

El marco de valor parte de una premisa prudente: la robótica no es superior por definición. Aporta valor cuando mejora resultados relevantes, facilita procedimientos complejos, mantiene abordajes mínimamente invasivos, reduce variabilidad, mejora la calidad técnica u organiza mejor el proceso quirúrgico. Esta visión se alinea con el concepto de valor en salud, entendido como relación entre resultados y recursos [2], y exige evaluar estructura, proceso y resultados [3].



“La robótica no es superior por definición. Aporta valor cuando mejora resultados relevantes, facilita procedimientos complejos, mantiene abordajes mínimamente invasivos, reduce variabilidad, mejora la calidad técnica u organiza mejor el proceso quirúrgico”

Cabe destacar que la mayor parte de los estudios sobre eficacia clínica de la cirugía robótica se han realizado comparando sus resultados frente a los de la cirugía abierta convencional. En estos estudios se han documentado de forma consistente una menor pérdida sanguínea intraoperatoria, menor tasa de complicaciones perioperatorias y una recuperación más rápida del paciente [1,2]. Sin embargo, estos mismos beneficios ya habían sido previamente demostrados por la cirugía laparoscópica convencional respecto a la cirugía abierta, por lo que no pueden atribuirse de forma exclusiva a la plataforma robótica. En los últimos años han comenzado a publicarse estudios que comparan directamente la cirugía robótica frente a la laparoscópica convencional, entre los que destaca el ensayo clínico aleatorizado multicéntrico LAP-01, el mayor realizado hasta la fecha sobre esta comparación, que incluyó 782 pacientes en cuatro hospitales alemanes. Sus resultados mostraron una ventaja de la prostatectomía robótica en la recuperación precoz de la continencia urinaria a los 3 meses, aunque esta diferencia no alcanzó significación estadística al año de seguimiento [20,21]. En la misma línea, el metaanálisis de Ma et al. (*International Journal of Surgery*, 2023) [22], que analizó de forma separada los ensayos aleatorizados y los estudios no aleatorizados disponibles, encontró que, en los ensayos aleatorizados, ambas técnicas resultaron comparables en pérdida hemática, tasa de complicaciones y márgenes quirúrgicos positivos, mientras que los estudios observacionales sí mostraron una ventaja para la cirugía robótica en algunas variables funcionales. En conjunto, los beneficios de la robótica frente a la laparoscópica existen, pero son más modestos que los observados frente a la cirugía abierta, lo que subraya la necesidad de diseñar estudios comparativos de alta calidad que permitan definir con mayor precisión el valor añadido real de la plataforma robótica.

2.1. RESULTADOS CLÍNICOS Y SEGURIDAD DEL PACIENTE

El primer componente del valor es el resultado clínico: morbilidad, conversión, recuperación, estancia, reintervenciones, reingresos, mortalidad y seguridad perioperatoria. En cualquier especialidad, la robótica debe compararse con la mejor alternativa disponible —cirugía abierta, laparoscopia, videotoracoscopia u otros abordajes mínimamente invasivos— y no con una idea abstracta de innovación tecnológica.

La seguridad exige especial rigor. La robótica aporta visión tridimensional, estabilidad, filtrado del temblor, ergonomía y articulación instrumental, pero también añade riesgos organizativos: acoplamiento, posición del paciente, disponibilidad de instrumental, coordinación con anestesia y enfermería, papel del ayudante de campo y plan de conversión. La estandarización, la comunicación del equipo y las listas de verificación han demostrado reducir complicaciones y mortalidad quirúrgica [4]. En robótica, este principio debe traducirse en checklists específicos de plataforma, equipo, material, energía, accesos y conversión. Las complicaciones deben registrarse con sistemas reproducibles, como Clavien-Dindo, para permitir comparación entre técnicas, servicios y centros [5], o con índices acumulativos como el Comprehensive Complication Index, que permite reflejar de forma más precisa la carga global de morbilidad postoperatoria [19].

La urología representa el ámbito donde la cirugía robótica cuenta con mayor trayectoria, volumen acumulado y evidencia clínica más madura. La prostatectomía radical robótica (RARP) es, a nivel mundial, el procedimiento robótico más frecuente, y ha sido el modelo en el que se han generado los estudios comparativos de mayor robustez. El ensayo LAPPRO, con diseño prospectivo

multicéntrico no aleatorizado y seguimiento a 12 años en 14 centros suecos, documentó una mortalidad específica por cáncer de próstata significativamente menor en el grupo robótico (2,0% vs. 4,5%; HR 0,36; IC95% 0,23–0,55), aunque los propios autores advierten que la interpretación debe ser cautelosa dado el diseño no aleatorizado del estudio [23]. Más allá de la supervivencia, la urología aporta una dimensión específica del resultado clínico que otras especialidades no tienen en la misma medida: la recuperación funcional como variable de resultado en sí misma. La continencia urinaria y la función eréctil —medidas con escalas validadas como el ICIQ, el IIEF o el EPIC— son resultados relevantes para el paciente, comparables entre centros y directamente relacionados con su calidad de vida postoperatoria. Su inclusión sistemática en los registros de resultados es un ejemplo de cómo la urología ha liderado la incorporación de PROs a la evaluación de la cirugía robótica [24]. Esta experiencia urológica ofrece un modelo exportable a otras especialidades que inician programas robóticos: la definición previa de los resultados relevantes para cada procedimiento, su medición sistemática y su comparación con la mejor alternativa disponible es el camino para demostrar —o refutar— el valor clínico real de la plataforma.

2.2. EXPERIENCIA DEL PACIENTE Y RECUPERACIÓN FUNCIONAL

El segundo componente es la experiencia del paciente. La cirugía robótica no debe evaluarse solo por tiempo quirúrgico, sangrado o estancia, sino también por dolor, autonomía, recuperación funcional, reincorporación, calidad de vida y percepción del proceso asistencial. La incorporación de resultados comunicados por el paciente —PROs— permite captar dimensiones que no siempre aparecen en las variables clínicas tradicionales [6]. Además, los PROMs pueden ayudar a comparar resultados entre proveedores y orientar mejoras organizativas [7].

La urología ofrece el ejemplo más desarrollado de incorporación de PROs a la evaluación sistemática de la cirugía robótica. En la prostatectomía radical, la continencia urinaria y la función eréctil son resultados funcionales de primera magnitud para el paciente, recogidos mediante instrumentos validados internacionalmente como el ICIQ-SF (*International Consultation on Incontinence Questionnaire – Short Form*) para continencia, y el IIEF (*International Index of Erectile Function*) o el módulo

urinario y sexual del cuestionario EPIC (*Expanded Prostate Cancer Index Composite*) para la esfera sexual [25]. Estos instrumentos permiten no solo comparar técnicas, sino monitorizar la recuperación funcional individual a lo largo del tiempo, identificar centros con mejores resultados y detectar de forma precoz complicaciones funcionales que no siempre aparecen en los registros clínicos habituales. El ensayo LAPPRO, con seguimiento a 8 años, demostró que los pacientes operados con cirugía robótica mantenían una ventaja persistente en función eréctil respecto a la cirugía abierta, con diferencias estadísticamente significativas incluso a largo plazo [26]. Por su parte, el ensayo OpeRa (*Annals of Oncology*, 2025), único ensayo aleatorizado disponible en nefrectomía parcial robótica frente a abierta para tumores renales complejos, documentó mediante PROs validados una menor intensidad de dolor, menor consumo de opioides y mejor calidad de vida hasta el día 30 postoperatorio en el grupo robótico, con resultados oncológicos y funcionales renales equivalentes [27]. Estos datos ilustran con precisión el argumento central de esta sección: la robótica puede generar valor no solo en variables clínicas clásicas, sino en la experiencia subjetiva del paciente durante su recuperación, siempre que dicha experiencia se mida de forma sistemática, con instrumentos validados y en el contexto de un programa asistencial estructurado.

La recuperación funcional depende tanto de la técnica como del circuito perioperatorio. La robótica, por sí sola, no garantiza mejor recuperación si no se integra en programas de optimización preoperatoria, analgesia multimodal, movilización precoz, manejo protocolizado de drenajes o sondajes, fisioterapia, nutrición y criterios de alta. Los programas ERAS han demostrado que la mejora de resultados no procede de una única intervención, sino de la suma coordinada de medidas perioperatorias basadas en evidencia [8]. Por ello, el valor de la robótica debe analizarse dentro del proceso asistencial completo, no como un acto quirúrgico aislado.

2.3. COSTE-VALOR, EFICIENCIA Y USO DE RECURSOS

El tercer componente es la eficiencia. La cirugía robótica implica costes de adquisición, mantenimiento, instrumental, consumibles, formación y adaptación organizativa. Estos costes no deben ocultarse. Barbash y Glied advirtieron que la robotización quirúrgica podía

aumentar el gasto sanitario si se expandía sin evaluación rigurosa de beneficios y costes [9]. Childers y Maggard-Gibbons estimaron costes significativos de adquisición y operación que deben incorporarse al análisis económico [10].

Sin embargo, el coste no puede analizarse de forma aislada. Lo relevante es el valor generado en el episodio completo: complicaciones, conversiones, estancia, re- ingresos, recuperación funcional, uso de UCI, recursos postoperatorios, volumen de actividad y aprovechamiento real de la plataforma. Un robot infrautilizado, sin planificación ni indicadores, difícilmente será eficiente.

La eficiencia tampoco equivale a rapidez inicial. Durante la implantación pueden aumentar los tiempos por montaje, acoplamiento y aprendizaje. Las revisiones sobre curva de aprendizaje en cirugía robótica muestran heterogeneidad entre procedimientos y dificultad para definir umbrales universales de competencia [11]. Por ello, la evaluación económica debe considerar la fase de maduración del programa, el volumen, la complejidad y la experiencia acumulada.

La prostatectomía radical robótica es, entre todos los procedimientos robóticos, el que cuenta con mayor número de análisis de coste-efectividad publicados, lo que la convierte en el modelo de referencia para abordar esta dimensión del valor en urología. Los resultados son heterogéneos, pero convergentes en un mensaje clave: la rentabilidad de la cirugía robótica mejora sustancialmente con el horizonte temporal, el volumen del centro y la centralización de la actividad. Song et al. (*BMJ Open*, 2022), en la revisión sistemática más completa publicada hasta la fecha, concluyeron que la mayoría de los estudios disponibles sitúan la prostatectomía robótica frente a la abierta dentro de umbrales de coste por QALY considerados coste-efectivos cuando se adopta una perspectiva a largo plazo [28]. Un análisis de coste-utilidad neerlandés basado en 7 años de seguimiento poblacional comparó la prostatectomía robótica frente a la laparoscópica, obteniendo un coste incremental de 34.206 euros por QALY ganado en condiciones estándar, que descendía hasta 3.495 euros por QALY en escenarios de centralización superior a 150 procedimientos anuales por centro [29].

Un factor determinante en esta ecuación económica es la evolución del coste por procedimiento a lo largo

del tiempo. A medida que el equipo quirúrgico adquiere experiencia y consolida su curva de aprendizaje, los tiempos operatorios se reducen, las complicaciones disminuyen y la eficiencia del uso de la plataforma mejora, con el consiguiente descenso del coste unitario real del procedimiento. Este efecto ha sido bien documentado en prostatectomía robótica, donde la reducción progresiva del tiempo quirúrgico con la experiencia acumulada es estadísticamente significativa y se estabiliza tras superar la fase inicial de aprendizaje [30]. Además, la curva de aprendizaje de la cirugía robótica es sensiblemente más corta que la de la laparoscopia convencional: mientras que en prostatectomía laparoscópica se han descrito curvas de aprendizaje de entre 40 y 250 casos según el parámetro evaluado, la curva de la prostatectomía robótica es consistentemente inferior, con estimaciones que oscilan entre 20 y 80 casos para la mayoría de los resultados perioperatorios y funcionales [31]. Esta diferencia se atribuye a las ventajas ergonómicas e instrumentales de la plataforma robótica —visión tridimensional, filtrado del temblor, articulación de siete grados de libertad— que reducen la dificultad técnica intrínseca del abordaje mínimamente invasivo.

Un elemento adicional que ha acortado aún más las curvas de aprendizaje en los programas de nueva implantación es la consolidación de modelos de mentoría y proctorización estructurada. La participación de cirujanos expertos como formadores o mentores durante las fases iniciales de un nuevo programa ha demostrado reducir el impacto de la curva de aprendizaje sobre los resultados del paciente, mejorando tanto los indicadores oncológicos como los funcionales durante el período de transición [32]. En los últimos años, el desarrollo del teleproctoring —mentoría remota en tiempo real a través de plataformas digitales— ha ampliado el alcance de estos modelos formativos, permitiendo el acompañamiento experto sin necesidad de desplazamiento físico y facilitando la implantación segura de programas robóticos en centros sin experiencia previa [33]. Estos modelos de transferencia de conocimiento entre centros consolidados y programas emergentes representan una estrategia de alto valor para el SNS, ya que permiten acortar el período de menor eficiencia inicial, proteger al paciente durante la curva de aprendizaje y optimizar desde el inicio el retorno económico de la inversión tecnológica.

2.4. VALOR AJUSTADO A RIESGO Y COMPLEJIDAD

El cuarto componente es el ajuste por riesgo y complejidad. Comparar resultados sin considerar perfil del paciente, dificultad técnica, indicación, curva de aprendizaje y experiencia del equipo puede inducir conclusiones erróneas. La mayor justificación de la robótica aparece cuando permite abordar procedimientos complejos o pacientes de mayor riesgo manteniendo un abordaje mínimamente invasivo, reduciendo variabilidad técnica y facilitando precisión en maniobras complejas. En determinados procedimientos, este valor puede traducirse en mejores resultados intermedios —por ejemplo, calidad de la disección, rendimiento ganglionar o menor conversión—, aunque su impacto sobre desenlaces debe demostrarse de forma específica para cada indicación.

En urología, la nefrectomía parcial robótica ilustra con precisión este principio. La complejidad anatómica del tumor renal se cuantifica mediante sistemas de puntuación estandarizados —RENAL y PADUA— que permiten estratificar el riesgo preoperatorio y ajustar la comparación de resultados entre técnicas y entre centros. En la era laparoscópica, los tumores de alta complejidad (RENAL ≥ 10) eran frecuentemente abordados mediante cirugía abierta por la dificultad técnica que implicaban en laparoscopia. La plataforma robótica ha permitido extender el abordaje mínimamente invasivo a estos tumores complejos manteniendo tasas de trifecta —márgenes negativos, isquemia caliente ≤ 25 minutos y ausencia de complicaciones perioperatorias— comparables a las obtenidas en tumores de menor complejidad, cuando la intervención es realizada por equipos con experiencia suficiente [34].

Un segundo eje de valor ajustado por complejidad, igualmente relevante, es la capacidad de la cirugía robótica para ampliar el número de pacientes que pueden beneficiarse de un abordaje mínimamente invasivo. La cirugía mínimamente invasiva ha demostrado de forma consistente menor tasa de complicaciones perioperatorias, menor pérdida hemática, menor estancia hospitalaria y recuperación más rápida que la cirugía abierta [35]. Sin embargo, la complejidad de determinados procedimientos limitaba históricamente su aplicación laparoscópica, reservando la cirugía abierta para los casos más exigentes. La plataforma robótica ha permitido extender

los beneficios del abordaje mínimamente invasivo a un espectro más amplio de pacientes y escenarios clínicos que previamente requerían cirugía abierta, aumentando así el número absoluto de pacientes que se benefician de sus ventajas.

En cirugía oncológica renal, este efecto es especialmente significativo y tiene implicaciones que van más allá del perioperatorio. La nefrectomía parcial robótica ha permitido extender la indicación de cirugía conservadora de nefronas —nefrectomía parcial frente a nefrectomía radical— a tumores de mayor complejidad anatómica (RENAL ≥ 10) y de mayor estadio clínico (cT2), que en la era laparoscópica hubieran requerido con frecuencia cirugía abierta o nefrectomía radical [34,36]. Esta ampliación de la indicación conservadora tiene consecuencias clínicas demostradas: el metaanálisis de Kim et al. (*Journal of Urology*, 2012), que analizó más de 40.000 pacientes, documentó que la nefrectomía parcial se asocia a una reducción del 19% en la mortalidad por cualquier causa, del 29% en la mortalidad específica por cáncer y del 61% en el riesgo de enfermedad renal crónica grave respecto a la nefrectomía radical [37]. La preservación de la función renal no es, por tanto, un objetivo exclusivamente quirúrgico: tiene impacto directo sobre la supervivencia global del paciente, su riesgo cardiovascular a largo plazo y su calidad de vida. En este sentido, la cirugía robótica no solo mejora la técnica quirúrgica; amplía el acceso a una estrategia terapéutica oncológicamente más segura y sistémicamente más beneficiosa para el paciente.

Este enfoque es aplicable a múltiples especialidades: cirugía digestiva, urológica, ginecológica, torácica, endocrina, pediátrica, cardíaca o de cabeza y cuello. No es equivalente un procedimiento estándar de baja complejidad que una resección compleja, una reconstrucción, una cirugía en pelvis estrecha, una disección difícil, una reintervención, un paciente frágil o una cirugía tras tratamientos previos. Por ello, los resultados deben ajustarse por riesgo y complejidad.

En estudios observacionales, los métodos de ajuste, como el propensity score, ayudan a reducir el efecto de la confusión por indicación [12]. Además, cuando se utilizan datos de práctica real, registros o bases administrativas, deben aplicarse estándares de comunicación como RECORD [13] y STROBE [14]. Sin esta metodología, la comparación entre cirugía robótica y alternativas puede reflejar selección de pacientes más que valor real de la tecnología.

2.5. TRADUCCIÓN DEL VALOR A DECISIONES SANITARIAS

El quinto componente es traducir el valor a decisiones: adquisición tecnológica, selección de centros, indicaciones, formación, acreditación, financiación, evaluación y equidad territorial. La robótica no debe implantarse como suma de iniciativas individuales, sino como programa institucional con objetivos, indicadores y rendición de cuentas. También es importante tener en cuenta la enorme experiencia en cirugía robótica que se ha adquirido en centros del Sistema Nacional de Salud en los últimos años. Esta experiencia puede ser trasladada a centros en los que se esté iniciando un programa de cirugía robótica a través de tutorizaciones, estancias y formación [32].

La innovación quirúrgica debe evaluarse progresivamente. El marco IDEAL propone estudiar las innovaciones desde su introducción hasta su consolidación, mediante registros prospectivos, evaluación estructurada y seguimiento [15]. Los marcos de implementación, como CFIR, recuerdan que el éxito depende del contexto, la intervención, los profesionales implicados y el proceso de implantación [16].

La formación es estratégica. Un programa robótico debe incluir teoría, simulación, entrenamiento progresivo, tutorización, asistencia a pie de mesa, consola supervisada y evaluación de competencias. El consenso internacional sobre currículo robótico propuso un modelo estructurado y progresivo [17], y el programa Fundamentals of Robotic Surgery mostró que la formación basada en competencias mejora el rendimiento técnico frente al entrenamiento convencional [18]. La formación debe entenderse como una responsabilidad compartida entre sociedades científicas, centros con experiencia, instituciones sanitarias y proveedores tecnológicos, pero la acreditación clínica y la autorización para la práctica autónoma deben permanecer bajo liderazgo profesional e institucional. La industria puede contribuir al entrenamiento técnico sobre la plataforma, pero la definición de competencias, la supervisión clínica y la evaluación de resultados deben depender de programas estructurados, independientes y auditables.

En ese sentido, la Sección de Cirugía Robótica de la Asociación Europea de Urología (ERUS) ha desarrollado

un currículo certificado —el ccERUS— que establece un itinerario formativo progresivo y basado en competencias: formación teórica, entrenamiento en simulador con umbrales objetivos de rendimiento, observación en centro de referencia, asistencia tutorizada en quirófano y evaluación modular de la ejecución técnica antes de la práctica autónoma [38]. Este modelo, validado internacionalmente, ha demostrado que un programa estructurado de 12 semanas permite a cirujanos con experiencia robótica limitada alcanzar niveles de competencia técnica suficientes para operar de forma independiente [39]. Más recientemente, se han desarrollado y validado herramientas de evaluación objetiva intraoperatoria para procedimientos urológicos robóticos específicos que permiten medir la competencia técnica con criterios reproducibles e independientes del volumen del centro [40]. Este nivel de desarrollo formativo en urología ofrece un modelo exportable al resto de especialidades que inician programas robóticos en el SNS.

“Es importante tener en cuenta la enorme experiencia en cirugía robótica que se ha adquirido en centros del Sistema Nacional de Salud en los últimos años”

En conclusión, el valor de la cirugía robótica no reside en la plataforma aislada, sino en la combinación de resultados, seguridad, experiencia del paciente, eficiencia, complejidad, formación y gobernanza. No debe presentarse como moda tecnológica ni solución universal, sino como herramienta estratégica para operar, seleccionar, medir y organizar mejor dentro del SNS.

Bibliografía

- **1.** Sheetz KH, Claflin J, Dimick JB. Trends in the Adoption of Robotic Surgery for Common Surgical Procedures. *JAMA Netw Open.* 2020;3(1):e1918911. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.18911.
- **2.** Porter ME. What Is Value in Health Care? *N Engl J Med.* 2010;363(26):2477-2481. doi:10.1056/NEJMp1011024.
- **3.** Donabedian A. The Quality of Care. How Can It Be Assessed? *JAMA.* 1988;260(12):1743-1748. doi:10.1001/jama.260.12.1743.
- **4.** Haynes AB, Weiser TG, Berry WR, et al. A Surgical Safety Checklist to Reduce Morbidity and Mortality in a Global Population. *N Engl J Med.* 2009;360(5):491-499. doi:10.1056/NEJMs0810119.
- **5.** Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of Surgical Complications: A New Proposal With Evaluation in a Cohort of 6336 Patients and Results of a Survey. *Ann Surg.* 2004;240(2):205-213. doi:10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae.
- **6.** Basch E. Patient-Reported Outcomes — Harnessing Patients' Voices to Improve Clinical Care. *N Engl J Med.* 2017;376(2):105-108. doi:10.1056/NEJMp1611252.
- **7.** Black N. Patient reported outcome measures could help transform healthcare. *BMJ.* 2013;346:f167. doi:10.1136/bmj.f167.
- **8.** Ljungqvist O, Scott M, Fearon KC. Enhanced Recovery After Surgery: A Review. *JAMA Surg.* 2017;152(3):292-298. doi:10.1001/jamasurg.2016.4952.
- **9.** Barbash GI, Glied SA. New Technology and Health Care Costs — The Case of Robot-Assisted Surgery. *N Engl J Med.* 2010;363(8):701-704. doi:10.1056/NEJMp1006602.
- **10.** Childers CP, Maggard-Gibbons M. Estimation of the Acquisition and Operating Costs for Robotic Surgery. *JAMA.* 2018;320(8):835-836. doi:10.1001/jama.2018.9219.
- **11.** Soomro NA, Hashimoto DA, Porteous AJ, et al. Systematic review of learning curves in robot-assisted surgery. *BJS Open.* 2020;4(1):27-44. doi:10.1002/bjs5.50235.
- **12.** Austin PC. An Introduction to Propensity Score Methods for Reducing the Effects of Confounding in Observational Studies. *Multivariate Behav Res.* 2011;46(3):399-424. doi:10.1080/00273171.2011.56878.
- **13.** Benchimol EI, Smeeth L, Guttman A, et al.; RECORD Working Committee. The REporting of studies Conducted using Observational Routinely-collected health Data (RECORD) Statement. *PLoS Med.* 2015;12(10):e1001885. doi:10.1371/journal.pmed.1001885.
- **14.** von Elm E, Altman DG, Egger M, et al.; STROBE Initiative. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: Guidelines for Reporting Observational Studies. *Lancet.* 2007;370(9596):1453-1457. doi:10.1016/S0140-6736(07)61602-X.
- **15.** McCulloch P, Altman DG, Campbell WB, et al. No Surgical Innovation Without Evaluation: The IDEAL Recommendations. *Lancet.* 2009;374(9695):1105-1112. doi:10.1016/S0140-6736(09)61116-8.
- **16.** Damschroder LJ, Aron DC, Keith RE, et al. Fostering Implementation of Health Services Research Findings Into Practice: A Consolidated Framework for Advancing Implementation Science. *Implement Sci.* 2009;4:50. doi:10.1186/1748-5908-4-50.
- **17.** Ahmed K, Khan R, Mottrie A, et al. Development of a Standardised Training Curriculum for Robotic Surgery: A Consensus Statement From an International Multidisciplinary Group of Experts. *BJU Int.* 2015;116(1):93-101. doi:10.1111/bju.12974.
- **18.** Satava RM, Stefanidis D, Levy JS, et al. Proving the Effectiveness of the Fundamentals of Robotic Surgery Skills Curriculum: A Single-Blinded, Multispecialty, Multi-Institutional Randomized Control Trial. *Ann Surg.* 2020;272(2):384-392. doi:10.1097/SLA.0000000000003220.
- **19.** Slankamenac K, Graf R, Barkun J, Puhan MA, Clavien PA. The Comprehensive Complication Index: A Novel Continuous Scale to Measure Surgical Morbidity. *Ann Surg.* 2013;258(1):1-7. doi:10.1097/SLA.0b013e318296c732.
- **20.** Stolzenburg JU, Holze S, Neuhaus P, et al. Robotic-assisted versus laparoscopic surgery: outcomes from the first multicentre, randomised, patient-blinded controlled trial in radical prostatectomy (LAP-01). *Eur Urol.* 2021;79(6):750-759. doi:10.1016/j.eururo.2021.01.049.
- **21.** Stolzenburg JU, Holze S, Arthanareeswaran VKA, et al. Robotic-assisted versus laparoscopic radical prostatectomy: 12-month outcomes of the multicentre randomised controlled LAP-01 trial. *Eur Urol Focus.* 2022;8(6):1583-1590. doi:10.1016/j.euf.2022.02.002.

- **22.** Ma J, Xu W, Chen R, et al. Robotic-assisted versus laparoscopic radical prostatectomy for prostate cancer: the first separate systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials and non-randomised studies. *Int J Surg.* 2023;109(5):1350-1359. doi:10.1097/JS9.000000000000193.
- **23.** Lantz A, Li Y, Carlsson S, et al. Robotic versus open radical prostatectomy, differences in prostate cancer-specific survival — 12 years of follow-up in the LAParoscopic Prostatectomy Robot Open Trial. *Eur Urol Oncol.* 2025;8(6):1524-1532. doi:10.1016/j.euo.2025.05.004.
- **24.** Basch E, Deal AM, Kris MG, et al. Symptom monitoring with patient-reported outcomes during routine cancer treatment: a randomized controlled trial. *J Clin Oncol.* 2016;34(6):557-565. doi:10.1200/JCO.2015.63.0830.
- **25.** Szymanski KM, Wei JT, Dunn RL, Sanda MG. Development and validation of an abbreviated version of the expanded prostate cancer index composite instrument for measuring health-related quality of life among prostate cancer survivors. *Urology.* 2010;76(5):1245-1250. doi:10.1016/j.urology.2010.01.027.
- **26.** Lantz A, Bock D, Akre O, et al. Functional and oncological outcomes after open versus robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy for localised prostate cancer: 8-year follow-up. *Eur Urol.* 2021;80(5):650-660. doi:10.1016/j.eururo.2021.08.005.
- **27.** M.-O. Grimm, J. Bedke, J. Nyarangi-Dix, et al. Open versus robotic-assisted partial nephrectomy in patients with intermediate/high-complexity kidney tumours: final results of the randomised, controlled, open-label, multicentre trial OpeRa. *Ann Oncol.* 2025. doi:10.1016/j.annonc.2025.04.005.
- **28.** Song C, Cheng L, Li Y, Kreaden U, Snyder SR. Systematic literature review of cost-effectiveness analyses of robotic-assisted radical prostatectomy for localised prostate cancer. *BMJ Open.* 2022;12(9):e058394. doi:10.1136/bmjopen-2021-058394.
- **29.** Melanie A. Lindenberg, Valesca P. Retèl, Henk G. van der Poel, et al. Cost-utility analysis on robot-assisted and laparoscopic prostatectomy based on long-term functional outcomes. *Sci Rep.* 2022;12(1):7833. doi:10.1038/s41598-022-10746-3.
- **30.** Felipe Monnerat Lott, Deborah Siqueira, Hermano Argolo, et al. Analysis of the learning curve of surgeons without previous experience in laparoscopy to perform robot-assisted radical prostatectomy. *Urol Int.* 2018;101(4):436-443. doi:10.1159/000490982.
- **31.** Grivas, N., Zachos, I., Georgiadis, G. et al. Learning curves in laparoscopic and robot-assisted prostate surgery: a systematic search and review. *World J Urol* 40, 929–949 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00345-021-03815-1>.
- **32.** Ryan JPC, Lynch O, Broe MP, et al. Robotic-assisted radical prostatectomy — impact of a mentorship program on oncological outcomes during the learning curve. *Ir J Med Sci.* 2022;191(1):479-484. doi:10.1007/s11845-021-02556-9.
- **33.** Meckawy, R., Saady, M., Meckawy, M. et al. Effectiveness of tele-proctoring in robotic surgery: systematic review of different robotic platforms. *World J Urol* 43, 709 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00345-025-05924-7>.
- **34.** Burak Ucpinar, Jordan Miller Rich, Kennedy E. Okhawere, et.al. Robot-assisted partial nephrectomy for complex renal tumors: analysis of a large multi-institutional database. *Urol Oncol.* 2023;41(9):390.e1-390.e8. doi:10.1016/j.urolonc.2023.06.001.
- **35.** Buia A, Stockhausen F, Hanisch E. Laparoscopic surgery: a qualified systematic review. *World J Methodol.* 2015;5(4):238-254. doi:10.5662/wjm.v5.i4.238.
- **36.** Julien Sarkis, Cecile M. Champy, Nicolas Doumerc, et.al.. Robot-assisted partial nephrectomy for hilar and nonhilar renal masses: comparison of perioperative, oncological, and functional results (NEPRAH study, UroCCR 175). *Eur Urol Oncol.* 2024. doi:10.1016/j.euo.2024.06.006.
- **37.** Kim SP, Thompson RH, Boorjian SA, et al. Comparative effectiveness for survival and renal function of partial and radical nephrectomy for localized renal tumors: a systematic review and meta-analysis. *J Urol.* 2012;188(1):51-57. doi:10.1016/j.juro.2012.03.026.
- **38.** Heinze A, Paciotti M, Fossati N, Motttrie A. Training and education in robotic surgery: recommendations of ERUS (EAU Robotic Urology Section). In: John H, Wiklund P (eds). *Robotic Urology*. Springer, Cham; 2024. doi:10.1007/978-3-031-49428-4_3.
- **39.** Volpe A, Ahmed K, Dasgupta P, et al. Pilot validation study of the European Association of Urology robotic training curriculum. *Eur Urol.* 2015;68(2):292-299. doi:10.1016/j.eururo.2014.10.025.
- **40.** Giuseppe Basile, Andrea Gallioli, Pietro Diana, et al. Current standards for training in robot-assisted surgery and endourology: a systematic review. *Eur Urol.* 2024. doi:10.1016/j.eururo.2024.04.014.

Tabla 1. Dimensiones para evaluar el valor clínico y sistémico de la cirugía robótica en el SNS

Dimensión de valor	Idea clave	Qué debe evaluarse	Indicadores orientativos	Utilidad para la toma de decisiones
Resultados clínicos y seguridad del paciente	La robótica aporta valor si mantiene o mejora resultados frente a la mejor alternativa disponible, sin asumir superioridad por defecto.	Morbilidad, mortalidad, conversión, reintervenciones, reingresos, complicaciones, seguridad perioperatoria y estandarización del proceso.	Clavien-Dindo, conversión, reingresos, mortalidad, eventos adversos, incidencias técnicas y cumplimiento de checklist.	Determinar si la plataforma mejora la seguridad, sostiene la mínima invasión y ofrece resultados comparables o superiores a alternativas abiertas o mínimamente invasivas.
Experiencia del paciente y recuperación funcional	El valor debe incluir la perspectiva del paciente, no solo variables quirúrgicas clásicas.	Dolor, autonomía, calidad de vida, recuperación funcional, reincorporación, satisfacción y experiencia del proceso asistencial.	PROs, PROMs, PREMs, dolor postoperatorio, tiempo hasta movilización, recuperación funcional y duración del ingreso.	Valorar si la robótica aporta una recuperación real y percibida más favorable dentro de un circuito perioperatorio optimizado.
Coste-valor, eficiencia y uso de recursos	El coste debe analizarse dentro del episodio completo y en relación con el valor generado.	Adquisición, mantenimiento, instrumental, consumibles, formación, ocupación de quirófano, estancia, UCI, reingresos y utilización de la plataforma.	Coste por episodio, coste ajustado por complejidad, volumen anual, uso de plataforma, estancia, UCI, cancelaciones y recursos postoperatorios.	Decidir si la inversión es sostenible, si existe volumen suficiente y si la plataforma se usa de forma eficiente y planificada.
Valor ajustado a riesgo y complejidad	La comparación entre técnicas debe ajustarse por perfil del paciente, complejidad, indicación y curva de aprendizaje.	Fragilidad, comorbilidad, dificultad técnica, tratamientos previos, reintervenciones, tipo de procedimiento y experiencia del equipo.	Modelos ajustados por riesgo, propensity score, estratificación por complejidad, resultados por procedimiento y fase de aprendizaje.	Evitar comparaciones injustas y definir en qué pacientes o procedimientos la robótica aporta mayor valor diferencial.
Traducción del valor a decisiones sanitarias	La robótica debe implantarse como programa institucional, no como suma de iniciativas individuales.	Gobernanza, selección de centros, indicaciones, formación, acreditación, financiación, equidad, registros y auditoría.	Volumen mínimo, cartera de procedimientos, equipos acreditados, registros prospectivos, benchmarking e indicadores de calidad.	Orientar adquisición, planificación, concentración de experiencia, formación, financiación y evaluación dentro del SNS.

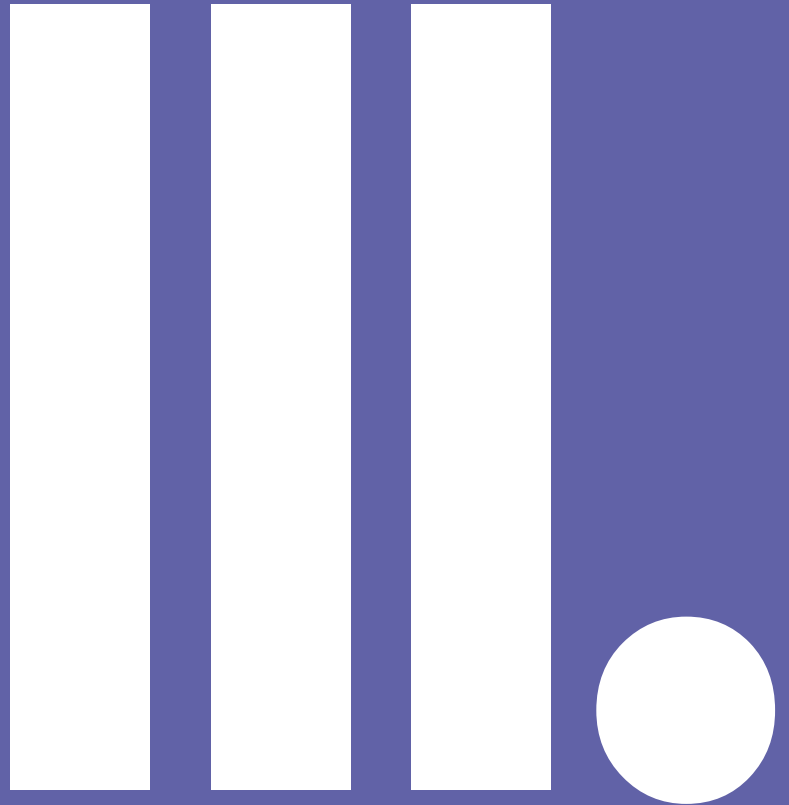


INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

III. Aportación diferencial de la cirugía robótica: implicaciones prácticas

- 3.1** Precisión, visualización y control quirúrgico
- 3.2** Ergonomía, estabilidad y rendimiento del cirujano
- 3.3** Abordaje mínimamente invasivo en alta complejidad
- 3.4** Estandarización, reproducibilidad y calidad técnica
- 3.5** Ecosistema tecnológico y cirugía basada en datos



Aportación
diferencial de la
cirugía robótica:
implicaciones
prácticas



Aportación diferencial de la cirugía robótica: implicaciones prácticas



La cirugía robótica representa una evolución relevante dentro de la transformación tecnológica y digital de la cirugía mínimamente invasiva. Su aportación diferencial no se limita a incorporar una nueva plataforma quirúrgica, sino que modifica de forma significativa la relación entre el cirujano, la imagen, el instrumental, los datos y el propio entorno operatorio. Frente a la laparoscopia, la toracoscopia y otras modalidades convencionales de cirugía mínimamente invasiva, la robótica proporciona visión tridimensional de alta definición, magnificación estable, instrumentos articulados, filtrado del temblor, escalado del movimiento y una ergonomía más favorable para el cirujano [1,2].

Estas capacidades adquieren una especial relevancia en procedimientos que requieren disección fina, sutura intracorpórea compleja, trabajo en espacios anatómicos reducidos o preservación precisa de estructuras neurovasculares. En cirugía digestiva, urológica, ginecológica, torácica y de cabeza y cuello, la robótica puede facilitar la realización de procedimientos mínimamente invasivos en escenarios de elevada complejidad técnica, mejorando las condiciones de trabajo quirúrgico y ampliando potencialmente la reproducibilidad de determinados gestos operatorios [1,2].

No obstante, la cirugía robótica no elimina por sí misma la complejidad quirúrgica ni sustituye el juicio clínico del cirujano. Su interés real aparece cuando permite ejecutar con mayor control, precisión y estabilidad una estrategia quirúrgica correctamente indicada y adecuadamente planificada. Desde esta perspectiva, la robótica debe entenderse menos como un instrumento aislado y más como una plataforma tecnológica integrada dentro de un modelo quirúrgico progresivamente más digitalizado, medible y orientado a resultados.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología (COT), la lógica tecnológica presenta características diferenciales respecto a otras especialidades. La robótica no se centra habitualmente en la visión endoscópica o en la sutura intracorpórea, sino en la planificación tridimensional, la navegación quirúrgica, el control de las trayectorias, la delimitación de los márgenes de seguridad y la reproducción precisa de un plan preoperatorio. En este contexto, su aplicación se ha desarrollado principalmente en artroplastia, cirugía de columna y

determinados procedimientos percutáneos de trauma, donde la precisión biomecánica y la exactitud del posicionamiento pueden tener un impacto directo sobre la función, la estabilidad y la supervivencia de los implantes [3–6].

La expresión clínica de las ventajas robóticas varía entre especialidades. En cirugía digestiva, urológica o torácica, el valor diferencial suele relacionarse con la calidad de la disección, la preservación anatómica y la capacidad reconstructiva en espacios complejos. En COT, en cambio, se vincula principalmente con la capacidad de transformar la planificación preoperatoria en una ejecución intraoperatoria más precisa, consistente y reproducible. Esta diferencia conceptual es importante, porque refleja que la cirugía robótica no constituye una tecnología homogénea, sino un conjunto de plataformas con objetivos clínicos y organizativos distintos según el procedimiento y la especialidad.

Más allá de las diferencias técnicas, la aportación diferencial de la cirugía robótica puede analizarse en cinco dimensiones principales: precisión, visualización y control quirúrgico; ergonomía y rendimiento del cirujano; abordaje mínimamente invasivo en escenarios complejos; estandarización y reproducibilidad; y desarrollo de un ecosistema quirúrgico basado en datos. Estas dimensiones no solo condicionan la ejecución técnica de la cirugía, sino también la organización asistencial, la formación, la medición de resultados y la evolución futura de modelos quirúrgicos más estandarizados y evaluables dentro del Sistema Nacional de Salud.

3.1. PRECISIÓN, VISUALIZACIÓN Y CONTROL QUIRÚRGICO

La cirugía robótica ha demostrado aportar ventajas relevantes en tres áreas fundamentales del acto quirúrgico: la visualización, la precisión y el control intraoperatorio. Frente a la laparoscopia convencional, incorpora avances tecnológicos diseñados para superar sus limitaciones, entre ellos la visión estereoscópica tridimensional (3D), el aumento de alta definición, los instrumentos articulados con siete grados de libertad, la estabilidad de la cámara controlada directamente por el cirujano, el filtrado de temblores y el escalado de movimiento. Estas capacidades facilitan una disección más precisa, especialmente en espacios anatómicamente reducidos o técnicamente complejos.

“Uno de los principales avances de la cirugía robótica es la mejora de la visualización quirúrgica”

Uno de los principales avances de la cirugía robótica es la mejora de la visualización quirúrgica. Los sistemas robóticos proporcionan visión 3D estereoscópica con magnificación de alta definición, ofreciendo percepción de profundidad y una orientación anatómica superior respecto a la laparoscopia bidimensional convencional. La plataforma de cámara estable y controlada por el propio cirujano elimina las oscilaciones y movimientos involuntarios asociados al manejo manual del laparoscopio, manteniendo una visión fija y centrada del campo operatorio durante toda la intervención. Además, la alta resolución y el aumento permiten identificar con mayor precisión estructuras críticas como nervios, vasos, uréteres o planos tisulares, favoreciendo una disección más segura y fina. La evidencia disponible demuestra que la visualización en 3D mejora la coordinación mano-ojo, la sutura intracorpórea, la orientación espacial y la eficiencia quirúrgica, reduciendo tiempos operatorios y tasas de error tanto en cirujanos experimentados como en formación.

La cirugía robótica también mejora significativamente la precisión quirúrgica. Existen instrumentos articulados que disponen de siete grados de libertad y reproducen —e incluso amplían— la movilidad de la muñeca humana, superando las limitaciones de los instrumentos laparoscópicos rígidos. Esta mayor maniobrabilidad facilita el abordaje desde múltiples ángulos y permite realizar disecciones más precisas a lo largo de los planos anatómicos, especialmente en regiones estrechas como la pelvis profunda. A ello se suma el filtrado digital del temblor fisiológico y el escalado de movimiento, mediante el cual movimientos amplios de la mano del cirujano se transforman en micromovimientos extremadamente precisos dentro del paciente. La evidencia experimental sugiere que el escalado de movimiento desempeña un papel clave en la mejora de la exactitud quirúrgica y en la optimización de tareas microquirúrgicas complejas como la sutura intracorpórea, la anastomosis vascular y la disección fina.

En cuanto al control intraoperatorio, la plataforma robótica permite al cirujano controlar simultáneamente la cámara y los instrumentos desde la consola, mejorando la estabilidad, la coordinación y la ergonomía durante procedimientos prolongados. La reducción de movimientos involuntarios, la estabilidad visual y la precisión instrumental favorecen una cirugía más reproducible y técnicamente refinada. La combinación de visualización avanzada, articulación instrumental y escalado de movimiento permite una cirugía con mayor preservación tisular y potencial reducción del traumatismo quirúrgico, especialmente en procedimientos anatómicamente complejos como la prostatectomía radical o la resección del cáncer de recto, donde se han descrito mejores tasas de disección mesorrectal completa y preservación neurovascular. Aunque los resultados clínicos globales frente a la laparoscopia convencional siguen siendo variables según el procedimiento, la evidencia actual demuestra beneficios particularmente consistentes en cirugías complejas donde la precisión, la estabilidad y la visualización avanzada desempeñan un papel determinante.

La expresión de esta precisión varía según la especialidad. En cirugía digestiva, urológica, ginecológica o torácica, el valor diferencial se relaciona principalmente con la calidad de la disección, la estabilidad de la imagen y la capacidad de sutura o reconstrucción intracorpórea. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, en cambio, la precisión robótica se orienta sobre todo hacia la planificación, la navegación, la ejecución de cortes o fresados, el control de trayectorias y el posicionamiento de implantes a partir de imagen preoperatoria o registro intraoperatorio.

En artroplastia total de rodilla, varias revisiones sistemáticas y metaanálisis han mostrado que la cirugía asistida por robot puede reducir la variabilidad en la alineación y disminuir la proporción de resultados radiológicos extremos respecto a la técnica convencional [4,7-10]. Conviene matizar que esta reducción de la dispersión es especialmente consistente en el plano coronal, mientras que los datos en alineación rotacional y sagital resultan más heterogéneos. Este hallazgo es relevante porque la dispersión en la posición de los componentes constituye uno de los factores técnicos que pueden influir en la función, la estabilidad, el desgaste y la supervivencia del implante. No obstante, debe interpretarse con prudencia, ya que la mayor consistencia radiológica no siempre se traduce de forma inmediata o uniforme en diferencias clínicas relevantes a largo plazo.

Además de mejorar determinados parámetros de precisión, la robótica puede contribuir a una ejecución más controlada del gesto quirúrgico. En artroplastia total de rodilla, Kayani et al. describieron una menor lesión iatrogénica ósea y de partes blandas en procedimientos asistidos por brazo robótico en comparación con la técnica convencional basada en guías mecánicas [11]. Este hallazgo se ha reproducido posteriormente con otras plataformas robóticas, lo que sugiere que se trata de un efecto vinculado al propio paradigma de ejecución asistida más que a un sistema concreto. Este tipo de evidencia resulta especialmente interesante porque desplaza el análisis desde la precisión radiológica hacia la calidad global de la ejecución quirúrgica y la preservación tisular.

En cirugía de columna y en determinados procedimientos percutáneos de trauma, la planificación robótica de trayectorias puede mejorar la precisión en la colocación de implantes y reducir la dependencia de controles fluoroscópicos repetidos. Esta dimensión tiene implicaciones potenciales tanto para la seguridad del paciente como para la exposición radiológica del equipo quirúrgico. Sin embargo, la evidencia debe valorarse de forma crítica, ya que es más consistente para resultados técnicos, radiológicos y de precisión de colocación que para resultados funcionales a largo plazo, complicaciones mayores o supervivencia de los implantes.

Desde una perspectiva práctica, la aportación de la cirugía robótica no reside únicamente en “ver mejor” o en disponer de una herramienta más sofisticada. Su valor aparece cuando permite transformar una planificación quirúrgica adecuada en una ejecución más precisa, controlada y reproducible. En COT, esta idea resulta especialmente relevante, porque la calidad del resultado depende en gran medida de la capacidad para reproducir con exactitud objetivos biomecánicos previamente definidos, como alineación, balance, posición del implante y seguridad de las trayectorias.

3.2. ERGONOMÍA, ESTABILIDAD Y RENDIMIENTO DEL CIRUJANO

La cirugía robótica aporta ventajas relevantes en términos de ergonomía, estabilidad y rendimiento técnico del cirujano, especialmente durante procedimientos complejos y de larga duración. A diferencia de la laparoscopia convencional, donde el cirujano suele trabajar de

pie y en posiciones ergonómicamente desfavorables, la cirugía robótica permite operar desde una consola ergonómica en posición sentada, con apoyo de antebrazos y cabeza, lo que reduce significativamente la carga musculoesquelética y el esfuerzo físico global. Diversos estudios objetivos basados en electromiografía y análisis ergonómico han demostrado una disminución del tiempo en posturas de riesgo, así como una menor activación muscular en cuello, hombros y extremidades superiores durante cirugía robótica en comparación con laparoscopia convencional. Asimismo, los cirujanos refieren menor fatiga física y menor discomfort acumulativo en cuello, brazos, manos y piernas, acompañado de una reducción de la demanda cardiovascular intraoperatoria. Aunque algunos grupos musculares —como la musculatura lumbar o ciertos extensores de la mano— pueden no beneficiarse de igual manera debido a la posición sedente prolongada, la evidencia global sugiere un impacto ergonómico más favorable y una menor carga física y cognitiva para el cirujano.

La estabilidad de la plataforma robótica constituye otro elemento diferencial relevante. El control directo de la cámara desde la consola proporciona un campo quirúrgico estable y centrado, eliminando movimientos involuntarios asociados a la fatiga del ayudante y reduciendo la necesidad de reajustes continuos de la imagen. Esta estabilidad visual, combinada con la posición fija y el apoyo de los antebrazos, mejora el control motor fino y favorece una ejecución técnica más precisa y reproducible. Los sistemas robóticos incorporan además filtrado digital del temblor fisiológico y escalado de movimiento, dos tecnologías diseñadas para optimizar la exactitud quirúrgica. El filtrado de temblor elimina oscilaciones involuntarias de la mano, especialmente relevantes en entornos de alta magnificación, mientras que el escalado de movimiento transforma movimientos amplios del cirujano en micromovimientos altamente precisos dentro del paciente. La evidencia experimental sugiere que el escalado de movimiento representa el principal determinante de la mejora en precisión quirúrgica, permitiendo una mayor exactitud en tareas complejas como la disección fina, la sutura intracorpórea o las anastomosis vasculares, además de generar una “ambidestreza funcional” que reduce diferencias entre mano dominante y no dominante.

Más allá de la dimensión física, la robótica puede modificar también la carga cognitiva del cirujano: una imagen más estable, un control directo de la cámara y una

secuencia más estructurada del procedimiento pueden reducir la atención dedicada a tareas accesorias y liberar recursos cognitivos para las decisiones técnicas críticas. Desde esta perspectiva, la ergonomía no debe interpretarse únicamente como una mejora de confort profesional, sino como un factor potencialmente relacionado con la seguridad, la consistencia técnica y la calidad del acto quirúrgico [12].

No obstante, la robótica introduce nuevas exigencias competenciales y organizativas. La posición en la consola, la ausencia o atenuación de la retroalimentación háptica, la coordinación con el equipo a pie de campo, el acoplamiento de la plataforma, la prevención de colisiones, la resolución de incidencias técnicas y la selección adecuada de los casos forman parte de una curva de aprendizaje específica. Las revisiones sobre el aprendizaje en cirugía robótica muestran una heterogeneidad importante entre procedimientos y especialidades, por lo que no puede asumirse una adopción uniforme, inmediata o exenta de riesgos [13].

La estabilidad del rendimiento quirúrgico depende, por tanto, no solo de la plataforma tecnológica, sino también de la formación estructurada, la experiencia progresiva del equipo y la estandarización del procedimiento. En programas robóticos maduros, el rendimiento del cirujano se integra dentro de un modelo asistencial más amplio, en el que enfermería especializada, anestelistas, ayudantes quirúrgicos y personal técnico contribuyen de forma decisiva a la seguridad y fluidez del proceso.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la ergonomía se expresa de una forma distinta. Muchas plataformas ortopédicas no se basan en cirugía de consola, pero pueden reducir la incertidumbre técnica en los pasos críticos, facilitar la ejecución guiada de cortes o trayectorias, disminuir la necesidad de controles fluoroscópicos repetidos en determinados procedimientos y hacer más predecible la relación entre la planificación y el resultado intraoperatorio. En este ámbito, la mejora del rendimiento no procede tanto de la postura del cirujano como de la reducción de la variabilidad en las fases técnicas de alta precisión.

En la artroplastia total de rodilla asistida por brazo robótico, Kayani et al. describieron una curva de aprendizaje corta para integrar el sistema en el flujo quirúrgico, sin pérdida de precisión en el posicionamiento de

los componentes durante las fases iniciales de adopción [14]. Este dato es relevante porque sugiere que, con una formación adecuada y una selección prudente de los casos, algunas plataformas pueden incorporarse al flujo quirúrgico sin comprometer los objetivos técnicos fundamentales. Aun así, estos resultados no deben extrapolarse de forma automática a todas las plataformas, hospitales o procedimientos.

Desde una perspectiva práctica, la ventaja de la robótica no se limita a mejorar la comodidad del cirujano. Su aportación más relevante es favorecer un entorno operatorio más estable, estructurado y menos dependiente de la fatiga o de la variabilidad individual. En COT, este beneficio se traduce sobre todo en una integración más fluida entre planificación y ejecución, y en una mayor previsibilidad de los pasos críticos que condicionan el posicionamiento de los implantes, la seguridad de las trayectorias y la reproducibilidad técnica.

3.3. ABORDAJE MÍNIMAMENTE INVASIVO EN ALTA COMPLEJIDAD

La cirugía robótica ha contribuido a ampliar las indicaciones de los abordajes mínimamente invasivos en casos complejos y borderline, principalmente gracias a su capacidad para reducir las tasas de conversión a cirugía abierta, facilitar la disección en planos anatómicos difíciles y mantener la viabilidad quirúrgica tras tratamientos neoadyuvantes. Estas ventajas permiten ofrecer cirugía mínimamente invasiva a pacientes con anatomías complejas, obesidad, pelvis estrecha, cirugía previa, fibrosis inflamatoria o tumores localmente avanzados que, con laparoscopia convencional, presentan una mayor probabilidad de conversión o requerimiento de cirugía abierta. En este contexto, la robótica se ha consolidado como una estrategia de “rescate MIS”, capaz de preservar los beneficios del abordaje mínimamente invasivo incluso en escenarios de elevada complejidad técnica.

La evidencia actual demuestra de forma consistente una reducción de las tasas de conversión con cirugía robótica frente a laparoscopia en múltiples procedimientos abdominales y oncológicos. Un metaanálisis de 20 años que incluyó más de 1,5 millones de pacientes mostró menores probabilidades de conversión a cirugía abierta en 15 procedimientos abdominales diferentes con asistencia robótica. Del mismo modo, metaanálisis de ensayos alea-

torizados en cirugía abdominal oncológica han descrito una reducción relativa del riesgo de conversión cercana al 44 % en comparación con laparoscopia convencional. Este beneficio parece particularmente relevante en procedimientos técnicamente exigentes, como la cirugía rectal baja, las reparaciones complejas de hernia, la disección en campos inflamatorios o fibróticos, y las reconstrucciones intracorpóreas avanzadas, donde las limitaciones de la laparoscopia convencional pueden dificultar la finalización mínimamente invasiva del procedimiento.

Las ventajas de la plataforma robótica adquieren especial importancia en pacientes complejos o de alto riesgo quirúrgico. Diversos estudios han mostrado que los pacientes sometidos a cirugía robótica suelen presentar mayor edad, obesidad, más comorbilidades y anatomías desfavorables, manteniendo aun así menores tasas de conversión tras ajuste por factores de confusión. En hepatectomías mayores mínimamente invasivas, por ejemplo, la asistencia robótica se ha identificado como un factor protector independiente frente a la conversión, incluso en presencia de factores de riesgo reconocidos como cirrosis, cirugía abdominal previa, tumores voluminosos o elevado riesgo anestésico. Estos hallazgos sugieren que la robótica puede ampliar el acceso a cirugía mínimamente invasiva en pacientes previamente considerados límite para este abordaje.

Uno de los escenarios donde la cirugía robótica parece ofrecer ventajas más relevantes es la disección difícil tras tratamiento neoadyuvante. La fibrosis, el edema y la distorsión anatómica secundarios a quimiorradioterapia aumentan significativamente la complejidad técnica y la dificultad para identificar planos anatómicos seguros. En este contexto, la combinación de visión tridimensional de alta definición, magnificación, instrumentos articulados con siete grados de libertad, filtrado de temblor y escalado de movimiento facilita una disección más precisa y controlada en espacios anatómicamente reducidos. En cáncer de recto, múltiples estudios han demostrado la viabilidad y seguridad de la cirugía robótica tras quimiorradioterapia neoadyuvante, con adecuada calidad oncológica de la resección, tasas favorables de preservación esfinteriana y potenciales beneficios en pacientes con características desfavorables como obesidad, pelvis estrecha o enfermedad localmente avanzada. Resultados similares se han descrito en cirugía torácica, esofágica, pancreática y ginecológica oncológica, donde la robótica ha mostrado ser

factible tras terapias de inducción complejas, manteniendo bajas tasas de conversión y resultados oncológicos comparables o superiores a los abordajes abiertos.

Desde el punto de vista técnico, la robótica ofrece ventajas particularmente útiles en espacios anatómicos confinados y durante maniobras complejas de disección fina o reconstrucción intracorpórea. Los instrumentos articulados y la visión estable en 3D permiten una disección más precisa alrededor de estructuras críticas como plexos nerviosos, uréteres y grandes vasos, favoreciendo una mejor preservación anatómica y una mayor calidad técnica de procedimientos como la escisión mesorrectal total, la disección ganglionar pélvica lateral o la resección interesfinteriana. Estas capacidades han permitido extender el abordaje mínimamente invasivo a procedimientos históricamente realizados mediante cirugía abierta, especialmente en urología, ginecología oncológica y cirugía colorrectal avanzada.

No obstante, aunque la evidencia respalda el papel de la cirugía robótica como facilitadora de cirugía mínimamente invasiva en escenarios complejos, los resultados deben interpretarse con cautela. Los beneficios parecen más consistentes en procedimientos técnicamente demandantes y en pacientes de alta complejidad, mientras que muchos ensayos aleatorizados muestran resultados perioperatorios globales comparables entre robótica y laparoscopia convencional. Además, persisten limitaciones importantes relacionadas con el mayor tiempo operatorio, el elevado coste de adquisición y mantenimiento de las plataformas y la limitada evidencia de superioridad oncológica a largo plazo en algunos procedimientos. En conjunto, el conocimiento actual sugiere que la cirugía robótica puede ampliar de manera significativa el alcance de la cirugía mínimamente invasiva en casos complejos, de rescate o borderline, especialmente cuando la neoadyuvancia, la fibrosis, la anatomía desfavorable o la dificultad de disección aumentan la complejidad técnica del procedimiento.

Este valor potencial resulta especialmente relevante en procedimientos donde la conversión a cirugía abierta, la agresión quirúrgica o la variabilidad técnica pueden condicionar la recuperación del paciente y el uso de recursos hospitalarios. Desde una perspectiva asistencial, la aportación de la robótica no debe entenderse solo como una mejora del gesto quirúrgico, sino como una herramienta que puede ayudar a preservar las ven-

tajas del abordaje mínimamente invasivo en pacientes y en procedimientos que concentran una mayor dificultad clínica.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la aplicación es distinta, pero conceptualmente comparable. La robótica no busca habitualmente facilitar una disección endoscópica compleja, sino mejorar el control de las trayectorias, los márgenes de seguridad y el posicionamiento de los implantes en aquellos procedimientos donde el margen de error es reducido. Un ejemplo característico lo constituyen la colocación percutánea de tornillos sacroilíacos en fracturas de pelvis posterior, la fijación de tornillos en columna torácica y lumbar o el manejo guiado de fracturas acetabulares, en los que la planificación tridimensional y la guía intraoperatoria pueden facilitar abordajes percutáneos o menos invasivos, con una colocación más controlada de los implantes y una potencial reducción de la dependencia de controles fluoroscópicos repetidos [5,6].

La evidencia en trauma ortopédico es todavía emergente. La mayor parte de los estudios disponibles procede de series observacionales, estudios retrospectivos o experiencias en centros con alto grado de especialización, lo que limita la generalización de los resultados. Las revisiones disponibles sugieren beneficios potenciales en precisión de colocación y reducción de exposición radiológica, pero la evidencia es menos sólida para resultados funcionales, complicaciones mayores, tiempo quirúrgico global o impacto coste-efectivo en práctica real [5,6].

Por ello, la robótica en trauma debe interpretarse como una herramienta en desarrollo, útil en procedimientos seleccionados y en entornos con experiencia, pero aún lejos de constituir una indicación universal. Su incorporación debe realizarse de forma progresiva, con criterios claros de selección, evaluación de resultados y análisis de su impacto real sobre la seguridad, la eficiencia y la recuperación funcional.

Desde una perspectiva práctica, el valor de la robótica en escenarios de alta complejidad no reside en simplificar artificialmente procedimientos difíciles, sino en proporcionar un entorno técnico más controlado para ejecutar estrategias mínimamente invasivas con mayor precisión y reproducibilidad. En COT, este principio se expresa especialmente en la posibilidad de realizar procedimientos percutáneos o guiados con mayor control de la trayectoria, mejor preservación tisular y mayor seguridad técnica.

Referencias bibliográficas

- Robotic Technology in Emergency General Surgery Cases in the Era of Minimally Invasive Surgery. JAMA Surgery. 2024. Lunardi N, Abou-Zamzam A, Florecki KL, et al.
- Impact of Type of Minimally Invasive Approach on Open Conversions Across Ten Common Procedures in Different Specialties. Surgical Endoscopy. 2022. Shah PC, de Groot A, Cerfolio R, et al.
- The Risk of Conversion in Minimally Invasive Oncological Abdominal Surgery. Meta-Analysis of Randomized Evidence Comparing Traditional Laparoscopic Versus Robot-Assisted Techniques. Langenbeck's Archives of Surgery. 2021. Guerra F, Giuliani G, Coletta D.SR
- The CONVERSION Study: Open Conversion Risk in Robotic vs Laparoscopic Surgery-a 20-Year Meta-Analysis. Annals of Surgery. 2025. Gangemi A, Ebadinejad A, Lisi AP, et al.
- Risk Factors and Outcomes of Open Conversion During Minimally Invasive Major Hepatectomies: An International Multicenter Study on 3880 Procedures Comparing the Laparoscopic and Robotic Approaches. Annals of Surgical Oncology. 2023. Montalti R, Giglio MC, Wu AGR, et al.
- Is Robotic Surgery Beneficial for Rectal Cancer Patients With Unfavorable Characteristic After Neoadjuvant Chemoradiotherapy?. Annals of Surgical Oncology. 2024. Shin JK, Kim HC, Lee WY, et al.
- Outcomes of Robotic Versus Laparoscopic Surgery for Mid and Low Rectal Cancer After Neoadjuvant Chemoradiation Therapy and the Effect of Learning Curve. Medicine. 2017. Huang YM, Huang YJ, Wei PL.
- Robotic Versus Laparoscopic Surgery for Rectal Cancer After Neoadjuvant Chemoradiotherapy: A Propensity-Score Matching Analysis. Journal of the Formosan Medical Association = Taiwan Yi Zhi. 2022. Chen TC, Liang JT.
- Long-Term Oncological Outcomes of Robotic Versus Laparoscopic Total Mesorectal Excision of Mid-Low Rectal Cancer Following Neoadjuvant Chemoradiation Therapy. Surgical Endoscopy. 2017. Lim DR, Bae SU, Hur H, et al.
- Robotic-Assisted Thoracic Surgery Following Neoadjuvant Chemoimmunotherapy in Patients With Stage III Non-Small Cell Lung Cancer: A Real-World Prospective Cohort Study. Frontiers in Oncology. 2022. Gao Y, Jiang J, Xiao D, et al.
- Neoadjuvant Therapy in Robotic Lung Surgery: Elevating Surgical Complexity Without Compromising Outcomes. Cancers. 2024. Serratosa I, Déniz C, Moreno C, et al.
- Short Term Outcomes of Robotic Surgery After Neoadjuvant Treatment for Locally Advanced NSCLC: A Comparison With the Open Approach. Frontiers in Oncology. 2025. Gallina FT, Tajè R, Forcella D, et al.
- National Trends and Perioperative Outcomes of Robotic Oesophagectomy Following Induction Chemoradiation Therapy: A National Cancer Database Propensity-Matched Analysis. European Journal of Cardio-Thoracic Surgery : Official Journal of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery. 2020. Kamel MK, Sholi AN, Rahouma M, et al.
- Safety and Oncologic Efficacy of Robotic Compared to Open Pancreaticoduodenectomy After Neoadjuvant Chemotherapy for Pancreatic Cancer. Surgical Endoscopy. 2021. Nassour I, Tohme S, Hoehn R, et al.
- Feasibility of Robotic Radical Hysterectomy After Neoadjuvant Chemotherapy in Women With Locally Advanced Cervical Cancer. European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology. 2016. Minig L, Zanagnolo V, Cárdenas-Rebollo JM, Colombo N, Maggioni A.Observational
- Surgical Outcomes of Robotic Radical Hysterectomy After Neoadjuvant Chemotherapy for Locally Advanced Cervical Cancer: Comparison With Early Stage Disease. European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology. 2013. Vitobello D, Siesto G, Pirovano C, Ieda N.

- Robot-Assisted Versus Conventional Laparoscopic Surgery for Rectal Cancer. The Cochrane Database of Systematic Reviews. 2024. Willis MA, Toews I, Meerpohl JJ, Kalff JC, Vilz TO.
- Optimizing Outcomes of Colorectal Cancer Surgery With Robotic Platforms. Surgical Oncology. 2021. Baek SJ, Piozzi GN, Kim SH.
- Robotic Versus Laparoscopic Versus Open Colorectal Surgery: Towards Defining Criteria to the Right Choice. Surgical Endoscopy. 2018. Zelhart M, Kaiser AM.
- Status of Robotic Assistance--a Less Traumatic and More Accurate Minimally Invasive Surgery?. Langenbeck's Archives of Surgery. 2012. Kenngott HG, Fischer L, Nickel F, et al.
- Robotic Colorectal Surgery. The Surgical Clinics of North America. 2020. Addison P, Agnew JL, Martz J.
- Robotic Surgery With High Dissection and Low Ligation Technique for Consecutive Patients With Rectal Cancer Following Preoperative Concurrent Chemoradiotherapy. International Journal of Colorectal Disease. 2016. Huang CW, Yeh YS, Su WC, et al.
- Clinical Outcomes of Robotic Surgery Compared to Conventional Surgical Approaches (Laparoscopic or Open): A Systematic Overview of Reviews. Annals of Surgery. 2021. Muaddi H, Hafid ME, Choi WJ, et al.
- What Do Randomised Trials Reveal About Robotic Surgery? A Critical Appraisal Across Colorectal, Upper Gastrointestinal, Hepato-Pancreaticobiliary, and General Surgical Specialties. Journal of Clinical Medicine. 2025. Geropoulos G, Massias S, Pajaziti Q, et al.
- Effect of Robotic-Assisted vs Conventional Laparoscopic Surgery on Risk of Conversion to Open Laparotomy Among Patients Undergoing Resection for Rectal Cancer: The ROLARR Randomized Clinical Trial. The Journal of the American Medical Association. 2017. Jayne D, Pigazzi A, Marshall H, et al.
- Kayani B, Konan S, Ayuob A, Haddad FS. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. EFORT Open Rev. 2019;4(11):611-617. doi:10.1302/2058-5241.4.190019.
- Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and radiological outcomes in robotic-assisted total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. J Arthroplasty. 2020;35(11):3393-3409.e2. doi:10.1016/j.arth.2020.03.005.
- Liow MHL, Chin PL, Tay KJ, Chia SL, Lo NN, Yeo SJ. Increased precision of coronal plane outcomes in robotic-assisted total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. Surgeon. 2018;16(4):237-244. doi:10.1016/j.surge.2017.12.003.
- Mancino F, Cacciola G, Malahias MA, De Filippis R, De Marco D, Di Matteo V, et al. What are the benefits of robotic-assisted total knee arthroplasty over conventional manual total knee arthroplasty? Orthop Rev (Pavia). 2020;12(Suppl 1):8657. doi:10.4081/or.2020.8657.
- Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery. Bone Joint J. 2018;100-B(7):930-937. doi:10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2018-0141.R1.
- Kayani B, Konan S, Huq SS, Tahmassebi J, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty has a learning curve of seven cases for integration into the surgical workflow but no learning curve effect for accuracy of implant positioning. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2019;27(5):1132-1141. doi:10.1007/s00167-018-5138-5.
- Schuijt HJ, Hundersmarck D, Smeeing DPJ, van der Meijden OAJ, Houwert RM. Robot-assisted fracture fixation in orthopaedic trauma surgery: a systematic review. OTA Int. 2021;4(4):e153. doi:10.1097/OI9.000000000000153.
- Saeedi-Hosseiny MS, Rothenberg HG, Jadallah AL, Khaja U, Karimov A, Abedin-Nasab MH. The impact of robotic surgery on reducing radiation exposure in orthopedic trauma: a meta-analysis. J Robot Surg. 2025;19:319. doi:10.1007/s11701-025-02454-7.

3.4. ESTANDARIZACIÓN, REPRODUCIBILIDAD Y CALIDAD TÉCNICA

La cirugía robótica aporta ventajas relevantes en términos de estandarización, reproducibilidad y calidad técnica del acto quirúrgico, favoreciendo una ejecución más uniforme y menos dependiente de la variabilidad individual del cirujano. Estas mejoras derivan tanto de las características técnicas inherentes de la plataforma como del desarrollo reciente de protocolos estructurados y modelos formales de procedimiento. La combinación de visión tridimensional estable, instrumentos articulados con siete grados de libertad, filtrado de temblores, escalado de movimiento y ergonomía optimizada permite realizar maniobras complejas con mayor precisión y consistencia que la laparoscopia convencional, particularmente en procedimientos anatómicamente exigentes.

Las plataformas robóticas reducen varias de las fuentes clásicas de variabilidad intraoperatoria presentes en la cirugía mínimamente invasiva convencional. La cámara controlada directamente por el cirujano proporciona una visión estereoscópica fija y estable, facilitando la identificación sistemática y reproducible de estructuras críticas como el plexo hipogástrico inferior, los uréteres o los vasos gonadales. Asimismo, los instrumentos de microarticulación permiten una disección más precisa y constante a lo largo de planos anatómicos definidos, incluso en espacios reducidos o tras fibrosis postneoadyuvancia. El filtrado de temblor y el escalado de movimiento disminuyen además la variabilidad asociada al gesto manual y favorecen movimientos más controlados y reproducibles. En conjunto, estas ventajas técnicas permiten una cirugía potencialmente más precisa, con menor pérdida sanguínea, menor lesión inadvertida de estructuras vecinas y menores tasas de conversión a cirugía abierta en procedimientos complejos.



Mientras que en la cirugía “visceral” o “endocavitaria”, la estandarización afecta también a la colocación de los trocares, la posición del paciente, la configuración del quirófano y la distribución de los roles. En cirugía ortopédica robótica, se expresa en la planificación del implante, la ejecución de los cortes o las trayectorias y la verificación de los parámetros técnicos. Por ejemplo, en artroplastia total de rodilla, la reducción de la dispersión en la alineación y la posición de los componentes es uno de los hallazgos más consistentes de la literatura. Aun así, la reproducibilidad no debe confundirse con la rigidez. El cirujano debe poder modificar el plan cuando la anatomía, la enfermedad o los hallazgos intraoperatorios lo exigen.

Uno de los avances más importantes en este campo es el desarrollo de modelos de proceso quirúrgico estructurados (“Surgical Process Models”, SPM), impulsados especialmente en cirugía robótica. Mediante

consensos internacionales de expertos y metodologías Delphi, diversos procedimientos robóticos han sido desglosados en fases operatorias, pasos secuenciales, errores y errores críticos explícitamente definidos, generando auténticas “métricas de rendimiento” objetivas. Por ejemplo, la resección anterior baja robótica ha sido estructurada en 14 fases y 129 pasos operatorios validados por consenso europeo, mientras que la hemicolectomía derecha robótica con escisión mesocólica completa se ha protocolizado en 15 fases con más de 120 pasos definidos.

Del mismo modo, la pancreaticoduodenectomía robótica ha sido organizada en secuencias anatómicas reproducibles de 17 pasos quirúrgicos clave. Este enfoque permite transformar procedimientos históricamente heterogéneos y dependientes de la experiencia individual en procesos más protocolizados, medibles y comparables entre cirujanos y centros.



La estandarización técnica derivada de estos modelos tiene implicaciones directas sobre la calidad quirúrgica. En cirugía del cáncer de recto, la robótica ha demostrado facilitar una escisión mesorrectal total más consistente, con mayores tasas de integridad mesorrectal, mejores márgenes de resección circunferencial y una disección ganglionar más completa en comparación con algunos abordajes laparoscópicos convencionales. La mayor precisión y estabilidad instrumental permiten además una disección más nítida y reproducible en espacios anatómicamente complejos, favoreciendo procedimientos con mayor preservación tisular y mejor calidad técnica global. Este aspecto resulta especialmente relevante en cirugía oncológica, donde la calidad de la resección se correlaciona estrechamente con los resultados funcionales y oncológicos.

La cirugía robótica también favorece una mayor reproducibilidad durante la curva de aprendizaje. Diversos estudios sugieren que determinadas maniobras complejas presentan una curva de aprendizaje más corta y estructurable que en laparoscopia convencional, facilitando una adquisición más progresiva y homogénea de competencias. La posibilidad de dividir procedimientos complejos en módulos secuenciales definidos permite entrenar habilidades de forma incremental, incorporando simulación de realidad virtual, videotecas quirúrgicas, doble consola y evaluación objetiva intraoperatoria. Este enfoque basado en competencias facilita alcanzar estándares técnicos reproducibles minimizando parte de la variabilidad asociada a la experiencia individual.

Otro elemento diferencial es la capacidad de la cirugía robótica para generar datos digitales estructurados del procedimiento quirúrgico. El registro sistemático de vídeo, movimientos instrumentales y tiempos operatorios permite analizar objetivamente el desempeño técnico y desarrollar métricas cuantificables de calidad quirúrgica. La integración de analítica de vídeo e inteligencia artificial abre la posibilidad de monitorizar adherencia a protocolos, identificar desviaciones técnicas y evaluar variabilidad operatoria en tiempo real. En este sentido, los modelos de proceso quirúrgico robótico constituyen una base fundamental para el desarrollo de cirugía basada en datos y futuras aplicaciones de asistencia cognitiva intraoperatoria.

La mejora ergonómica de la plataforma también puede contribuir indirectamente a una mayor consistencia técnica. La reducción de la fatiga física y mental, junto con una mayor comodidad operatoria, favorece un rendimiento más estable durante procedimientos prolongados y disminuye la variabilidad asociada al agotamiento del cirujano. Sin embargo, aunque la cirugía robótica proporciona un entorno más estable, protocolizable y reproducible, la calidad quirúrgica continúa dependiendo de factores esenciales como la experiencia del equipo, el volumen del centro, la selección de pacientes y la adherencia a protocolos clínicos.

A pesar de estas ventajas en términos de estandarización y calidad técnica, los ensayos aleatorizados muestran que la cirugía robótica sigue asociándose a tiempos operatorios más prolongados y mayores costes directos, con evidencia todavía limitada de superioridad oncológica o coste-efectividad a largo plazo en muchos procedimientos. En conjunto, la evidencia actual sugiere que el principal valor diferencial de la robótica reside en su capacidad para reducir variabilidad técnica, facilitar la reproducibilidad operatoria y transformar procedimientos complejos en procesos más estructurados, medibles y potencialmente más consistentes desde el punto de vista técnico.

En la cirugía robótica de consola, la estandarización afecta a la posición del paciente, la colocación de los trocares, la configuración del quirófano, el acoplamiento de la plataforma, la distribución de los roles y la secuencia técnica del procedimiento. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, se expresa de otra forma: planificación del implante, definición de los objetivos biomecánicos, ejecución de cortes o trayectorias, control de los márgenes de seguridad y verificación intraoperatoria de los parámetros técnicos. La estandarización y reproducibilidad viene dada por la ejecución precisa de la planificación individualizada en función de las características anatómicas y las necesidades biomecánicas.

En artroplastia total de rodilla, este beneficio se expresa de forma especialmente clara en términos de reproducibilidad entre cirujanos y entre centros. La cirugía asistida por robot tiende a estrechar las diferencias en alineación y posicionamiento de los componentes entre cirujanos con distintos volúmenes de actividad o niveles de experiencia, y reduce la influencia del

“La cirugía robótica se está consolidando como el núcleo de un ecosistema tecnológico orientado hacia una cirugía más integrada, cuantificable y basada en datos”

factor operador sobre el resultado técnico final [4,7-10,17]. Este efecto es relevante desde la perspectiva de la calidad asistencial, porque permite que el resultado quirúrgico dependa menos del cirujano concreto que realiza la intervención y más del plan previamente definido y verificado. Sin embargo, la mayor reproducibilidad técnica no debe interpretarse de forma automática como una superioridad clínica universal, ya que los resultados funcionales dependen también de los factores del paciente, la rehabilitación, el dolor, las expectativas y la evolución a medio y largo plazo.

La reproducibilidad tampoco debe confundirse con la rigidez. Un procedimiento robótico bien planteado debe permitir adaptar el plan quirúrgico cuando la anatomía, la calidad ósea, la deformidad, la enfermedad o los hallazgos intraoperatorios lo exijan. La ventaja de la robótica es que esa adaptación puede realizarse dentro de un marco más controlado, trazable y auditable, reduciendo las decisiones intuitivas no documentadas y facilitando la comparación posterior de resultados.

Esta dimensión tiene implicaciones relevantes para los programas de calidad quirúrgica. Un procedimiento más estandarizado facilita la formación progresiva, la supervisión, la evaluación de competencias, el análisis de resultados y la comparación entre equipos o centros. En sistemas sanitarios complejos, como el SNS, esta capacidad de convertir el acto quirúrgico en un proceso más reproducible y evaluable puede tener valor organizativo, no solo técnico.

Desde una perspectiva práctica, la robótica aporta valor cuando permite combinar la adaptación individual y la consistencia técnica. En COT, este equilibrio resulta especialmente importante, porque el resultado quirúrgico depende de reproducir objetivos previamente definidos sin perder la capacidad de ajustar el plan a la realidad anatómica del paciente. Por ello, la

estandarización robótica debe entenderse como una herramienta para mejorar la calidad, la seguridad y la comparabilidad, no como una sustitución del criterio quirúrgico.

3.5. ECOSISTEMA TECNOLÓGICO Y CIRUGÍA BASADA EN DATOS

La cirugía robótica se está consolidando como el núcleo de un ecosistema tecnológico orientado hacia una cirugía más integrada, cuantificable y basada en datos. Este ecosistema incorpora múltiples plataformas complementarias —entre ellas la imagenología por fluorescencia con verde de indocianina (ICG), la imagen hiperespectral (HSI), la inteligencia artificial (IA), la analítica avanzada de vídeo quirúrgico, el teleproctoring y la simulación en realidad virtual (RV)— que están transformando la precisión quirúrgica, la formación y la toma de decisiones intraoperatorias. Más allá de la asistencia mecánica al gesto quirúrgico, las plataformas robóticas representan una infraestructura digital capaz de integrar imagen, movimiento, datos fisiológicos y análisis computacional en tiempo real, configurando el paradigma emergente de “cirugía aumentada”.

Las plataformas robóticas constituyen el referente tecnológico natural para esta transición hacia la cirugía basada en datos. Determinados sistemas de cirugía robótica han demostrado ventajas técnicas consolidadas gracias a la visualización estereoscópica tridimensional, los instrumentos articulados con siete grados de libertad, el filtrado de temblores y el escalado de movimiento. La evidencia derivada de metaanálisis y ensayos aleatorizados muestra que la cirugía robótica puede reducir las tasas de conversión a cirugía abierta, la pérdida sanguínea y algunas complicaciones perioperatorias frente a los abordajes laparoscópicos y abiertos, particularmente en procedimientos complejos, aunque

a costa de mayores tiempos operatorios y costes más elevados. Paralelamente, nuevas plataformas robóticas están introduciendo arquitecturas modulares, mejoras ergonómicas y sistemas de retroalimentación háptica que buscan ampliar la accesibilidad y sofisticación tecnológica de la cirugía robótica.

Uno de los componentes más desarrollados de este ecosistema es la integración de imagenología por fluorescencia con ICG. La fluorescencia integrada en plataformas robóticas permite evaluación de perfusión en tiempo real, identificación anatómica, navegación vascular y linfática, así como localización tumoral y valoración intraoperatoria de márgenes. En cirugía hepatobiliar, la ICG facilita la demarcación anatómica y la detección de metástasis hepáticas colorrectales mediante patrones fluorescentes específicos, permitiendo potencialmente resecciones más precisas y re-resecciones inmediatas en caso de márgenes dudosos. En cirugía colorrectal, la angiografía fluorescente se utiliza ampliamente para valorar perfusión anastomótica y reducir el riesgo de fuga, aunque persiste una considerable heterogeneidad en protocolos de dosificación, temporización e interpretación cuantitativa. La evidencia disponible y las recomendaciones recientes apoyan un papel creciente de la ICG como herramienta de cirugía guiada por imagen, especialmente en procedimientos complejos y oncológicos.

La imagen hiperespectral representa una evolución adicional hacia la caracterización funcional y cuantitativa de los tejidos. A diferencia de la fluorescencia convencional, la HSI permite evaluar oxigenación y perfusión tisular sin necesidad de contraste, capturando información espectral entre 500 y 1000 nm y diferenciando hemoglobina oxigenada y desoxigenada. Estudios recientes en cirugía colorrectal y renal han demostrado que la HSI puede identificar áreas de perfusión marginal no detectadas clínicamente y discriminar estados fisiológicos tisulares con elevada precisión cuando se combina con algoritmos de aprendizaje automático. La integración de HSI en cirugía mínimamente invasiva y robótica abre la posibilidad de desarrollar sistemas de navegación fisiológica intraoperatoria capaces de asistir en tiempo real durante resecciones, anastomosis o preservación tisular. No obstante, su adopción clínica todavía requiere validación multicéntrica, estandarización técnica y mejora de la interoperabilidad con plataformas quirúrgicas.

“La cirugía robótica representa actualmente el principal referente de la transición hacia una cirugía guiada por datos, imagen avanzada e inteligencia artificial”

La inteligencia artificial y el aprendizaje automático constituyen otro eje central del ecosistema robótico basado en datos. La IA permite integrar señales procedentes de vídeo quirúrgico, imagen avanzada, monitorización fisiológica y datos clínicos para apoyar la toma de decisiones preoperatorias, intraoperatorias y postoperatorias. Modelos predictivos basados en aprendizaje automático han demostrado capacidad para anticipar complicaciones como sepsis, lesión renal aguda, necesidad transfusional o mortalidad perioperatoria. Paralelamente, las aplicaciones de visión artificial permiten reconocer fases operatorias, segmentar estructuras anatómicas, analizar flujos de trabajo quirúrgicos y extraer métricas objetivas de desempeño técnico a partir del vídeo quirúrgico. En este contexto, la robótica ofrece una ventaja diferencial al generar grandes volúmenes de datos digitalizados y estructurados procedentes de la consola, los instrumentos y la plataforma de imagen. La convergencia entre IA, vídeo quirúrgico y cirugía robótica está impulsando el concepto de “augmented decisions”, en el que sistemas computacionales proporcionan soporte cognitivo intraoperatorio mediante alertas, predicciones y asistencia anatómica contextualizada.

La supervisión remota y el teleproctoring representan asimismo componentes estratégicos del ecosistema tecnológico robótico. Estas herramientas permiten tutoría experta a distancia, estandarización técnica y difusión segura de procedimientos complejos, superando barreras geográficas y facilitando la implementación de programas robóticos en centros emergentes. Revisiones sistemáticas recientes muestran que el teleproctoring robótico puede alcanzar resultados perioperatorios

comparables a la supervisión presencial cuando se dispone de conexiones de baja latencia y redes de grado quirúrgico. Sistemas avanzados de telepresencia como TELEPRO® permiten supervisión internacional bidireccional en tiempo real, aunque su expansión requiere importantes garantías de conectividad, ciberseguridad y fiabilidad operativa.

La simulación mediante realidad virtual constituye otro elemento clave en la cirugía basada en datos. Los simuladores robóticos permiten entrenar habilidades técnicas en entornos reproducibles, evaluar competencias mediante métricas objetivas y reducir la curva de aprendizaje antes de la práctica clínica. Los programas de entrenamiento basados en simulación han demostrado mejorar el rendimiento técnico, disminuir errores y optimizar habilidades robóticas transferibles al entorno quirúrgico real. Los currículos estructurados basados en competencias y aprendizaje por dominio permiten además una evaluación más objetiva y reproducible de la progresión técnica, alineándose con modelos modernos de acreditación y formación quirúrgica.

La integración de fluorescencia, HSI, vídeo quirúrgico, IA, simulación y teleproctoring configura un ecosistema quirúrgico digital donde convergen monitorización fisiológica, imagen molecular, analítica avanzada

y soporte experto remoto. Este modelo favorece una cirugía más precisa, personalizada y potencialmente predictiva. Sin embargo, el grado de madurez clínica de estas tecnologías sigue siendo heterogéneo. Entre las principales limitaciones actuales destacan la falta de protocolos estandarizados, la limitada explicabilidad de algunos algoritmos de IA, los elevados costes tecnológicos, la necesidad de validación externa multicéntrica y los retos relacionados con interoperabilidad, gobernanza del dato y ciberseguridad. Las futuras líneas de desarrollo incluyen gemelos digitales quirúrgicos, aprendizaje federado, integración de realidad aumentada y plataformas híbridas de navegación multimodal que combinen imagen tridimensional, fluorescencia e inteligencia artificial. En conjunto, la cirugía robótica representa actualmente el principal referente de la transición hacia una cirugía guiada por datos, imagen avanzada e inteligencia artificial, en la que la tecnología no solo ejecuta movimientos, sino que contribuye progresivamente a interpretar información y apoyar decisiones intraoperatorias complejas.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la cirugía basada en datos tiene un interés especial en artroplastia, columna y trauma. La posibilidad de registrar alineación, balance, posición de los implantes, trayectorias,



márgenes de seguridad y otros parámetros intraoperatorios puede facilitar la correlación posterior con resultados funcionales, complicaciones, necesidad de revisión y supervivencia de los implantes. Esta dimensión es especialmente relevante porque permite pasar de una evaluación basada solo en el resultado final a un análisis más completo de la relación entre planificación, ejecución y evolución clínica.

Desde una perspectiva organizativa, el potencial de la cirugía basada en datos exige condiciones que no siempre están resueltas en la práctica clínica habitual. La interoperabilidad entre plataformas, la estandarización de variables, la protección de la información clínica, la gobernanza del dato y la evaluación coste-efectividad son requisitos imprescindibles para que la información generada durante la cirugía se convierta en conocimiento útil. Sin estos elementos, existe el riesgo de acumular datos sin una capacidad real para mejorar las decisiones, comparar resultados o reducir la variabilidad.

El reto, por lo tanto, no es generar más información, sino transformarla en indicadores clínicos y organizativos relevantes. La cirugía robótica puede facilitar la captura de datos, pero su interpretación sigue siendo clínica, científica y estratégica. En el contexto del SNS, esta dimensión adquiere especial importancia, porque puede contribuir a desarrollar modelos de evaluación más homogéneos, programas de mejora continua, benchmarking entre centros y decisiones de inversión basadas en resultados.

Desde una perspectiva práctica, la robótica aporta valor cuando convierte la información intraoperatoria en conocimiento aplicable. Su contribución no reside solo en operar con mayor precisión, sino en hacer que el procedimiento sea más visible, analizable y evaluable. En COT, esta capacidad puede ser especialmente útil para relacionar los parámetros técnicos, como alineación, balance o posicionamiento de los implantes, con los resultados funcionales y la durabilidad a largo plazo.

Consideraciones finales

La aportación diferencial de la cirugía robótica no puede reducirse a una mejora instrumental. Su verdadero valor reside en la combinación de visión, precisión, ergonomía, estandarización, reproducibilidad y capacidad de generar datos útiles para la mejora continua. En cirugía digestiva, urológica, ginecológica, torácica o de cabeza y cuello, estas ventajas se expresan principalmente en la disección fina, la sutura intracorpórea, la preservación anatómica y el trabajo en espacios quirúrgicos complejos. En COT, se manifiestan sobre todo en la planificación tridimensional, la navegación, la precisión de los cortes, el posicionamiento de implantes y el control de las trayectorias.

La cirugía robótica no sustituye la experiencia del cirujano ni corrige una indicación inadecuada. Su valor aparece cuando permite ejecutar

con mayor control una estrategia quirúrgica bien indicada, correctamente planificada y realizada por equipos formados. Desde esta perspectiva, la robótica no debe entenderse como una solución universal, sino como una herramienta de alto valor potencial en escenarios donde la precisión, la complejidad, la reproducibilidad y la reducción de variabilidad pueden tener impacto clínico y organizativo.

Su incorporación al Sistema Nacional de Salud debe ser crítica, progresiva y evaluable. Requiere indicaciones bien seleccionadas, formación estructurada, equipos multidisciplinares, monitorización de resultados, análisis coste-efectividad y modelos de gobernanza que permitan diferenciar el valor real de la mera adopción tecnológica. Solo así la cirugía robótica puede evolucionar desde una tecnología quirúrgica avanzada hacia una herramienta efectiva de mejora clínica, organizativa y sistémica.

Referencias bibliográficas

- **1.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg.* 2004;239(1):14-21. doi:10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d
- **2.** Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2018;13(1):e0191628. doi:10.1371/journal.pone.0191628.
- **3.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdum A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Nov 21;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.
- **4.** Kayani B, Konan S, Ayuob A, Onochie E, Al-Jabri T, Haddad FS. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. *EFORT Open Rev.* 2019;4(10):611-617. doi:10.1302/2058-5241.4.190022
- **5.** Schuijt HJ, Hundersmarck D, Smeeing DPJ, van der Meijden OAJ, Houwert RM. Robot-assisted fracture fixation in orthopaedic trauma surgery: a systematic review. *OTA Int.* 2021;4(4):e153. doi:10.1097/OI9.0000000000000153.
- **6.** Saeedi-Hosseiny MS, Rothenberg HG, Jadallah AL, Khaja U, Karimov A, Abedin-Nasab MH. The impact of robotic surgery on reducing radiation exposure in orthopedic trauma: a meta-analysis. *J Robot Surg.* 2025 Jun 23;19(1):319. doi:10.1007/s11701-025-02454-7.
- **7.** Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and radiological outcomes in robotic-assisted total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi:10.1016/j.arth.2020.03.005
- **8.** Liow MHL, Chin PL, Tay KJ, Chia SL, Lo NN, Yeo SJ. Increased precision of coronal plane outcomes in robotic-assisted total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Surgeon.* 2018;16(4):237-244. doi:10.1016/j.surge.2017.12.003.
- **9.** Mancino F, Cacciola G, Malahias MA, De Filippis R, De Marco D, Di Matteo V, et al. What are the benefits of robotic-assisted total knee arthroplasty over conventional manual total knee arthroplasty? *Orthop Rev (Pavia).* 2020;12(Suppl 1):8657. doi:10.4081/or.2020.8657
- **10.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi:10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2018-0141.R1.
- **11.** Kayani B, Konan S, Pietrzak JRT, Haddad FS. Iatrogenic bone and soft tissue trauma in robotic-arm assisted total knee arthroplasty compared with conventional jig-based total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2018;33(8):2496-2501. doi:10.1016/j.arth.2018.03.042.
- **12.** Wee IJY, Kuo LJ, Ngu JC. A systematic review of the true benefit of robotic surgery: ergonomics. *Int J Med Robot.* 2020;16(4):e2113. doi:10.1002/rcs.2113.
- **13.** Kassite I, Bejan-Angoulvant T, Lardy H, Binet A. A systematic review of the learning curve in robotic surgery: range and heterogeneity. *Surg Endosc.* 2019 Feb;33(2):353-365. doi: 10.1007/s00464-018-6473-9.
- **14.** Kayani B, Konan S, Huq SS, Tahmassebi J, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty has a learning curve of seven cases for integration into the surgical workflow but no learning curve effect for accuracy of implant positioning. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019 Apr;27(4):1132-1141. doi:10.1007/s00167-018-5138-5.
- **15.** Ryan ÉJ, Ryan OK, Corrigan N, Ainsworth G, Hilling DE, Vahrmeijer AL, Kössi J, Watanabe J, Jayne D, Cahill RA. Indocyanine green fluorescence angiography for anastomotic perfusion assessment in colorectal surgery: a systematic review with meta-analysis, meta-regression, and trial sequential analyses. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2026 May;11(5):367-379. doi:10.1016/S2468-1253(25)00373-5.
- **16.** Hung AJ, Chen J, Gill IS. Automated Performance Metrics and Machine Learning Algorithms to Measure Surgeon Performance and Anticipate Clinical Outcomes in Robotic Surgery. *JAMA Surg.* 2018 Aug 1;153(8):770-771. doi:10.1001/jamasurg.2018.1512.
- **17.** Fan X, Wang Y, Zhang S, Xing Y, Li J, Ma X, Ma J. Orthopedic surgical robotic systems in knee arthroplasty: a comprehensive review. *Front Bioeng Biotechnol.* 2025 Feb 20;13:1523631. doi: 10.3389/fbioe.2025.1523631.
- **18.** Yang HY, Seon JK. The landscape of surgical robotics in orthopedics surgery. *Biomed Eng Lett.* 2023 Oct 11;13(4):537-542. doi: 10.1007/s13534-023-00321-8.

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

IV. Proceso asistencial en cirugía robótica: del paciente a la organización

- 4.1** Selección, indicación y decisión multidisciplinar
- 4.2** Preparación del paciente y planificación preoperatoria avanzada
- 4.3** Planificación integrada quirúrgico-anestésica y organización
- 4.4** Ejecución intraoperatoria y manejo postoperatorio (ERAS)
- 4.5** Seguimiento clínico, experiencia del paciente y control del proceso

IV.

Proceso asistencial
en cirugía robótica:
del paciente a la
organización

IV.

Proceso asistencial en cirugía robótica: del paciente a la organización

La incorporación de la cirugía robótica no modifica las fases fundamentales del proceso quirúrgico, pero sí transforma de manera significativa la forma en que estas se planifican, coordinan, ejecutan y evalúan. Más que alterar el esquema asistencial clásico, la robótica introduce un entorno tecnológico y organizativo que exige una integración más estrecha entre profesionales, plataformas, datos y procesos clínicos [1,2].

En este contexto, la cirugía robótica debe entenderse no solo como una herramienta operatoria, sino como un modelo asistencial que afecta al conjunto del recorrido del paciente. Selección de casos, planificación preoperatoria, organización del bloque quirúrgico, ejecución técnica, recuperación postoperatoria y evaluación de resultados adquieren características específicas cuando se desarrollan dentro de programas robóticos estructurados. La tecnología deja de limitarse al acto quirúrgico aislado y pasa a integrarse en un proceso progresivamente más protocolizado, medible y orientado a resultados [2,3].

A diferencia de otras innovaciones centradas exclusivamente en la técnica operatoria, la cirugía robótica desplaza parte relevante de su potencial valor hacia fases previas y posteriores a la intervención. Planificación basada en imagen, simulación, coordinación multidisciplinar, estandarización de circuitos y monitorización de resultados adquieren un papel creciente dentro de la



práctica quirúrgica contemporánea. Este cambio resulta particularmente importante en sistemas sanitarios complejos como el Sistema Nacional de Salud, donde sostenibilidad, eficiencia organizativa y reducción de variabilidad forman parte de la evaluación global de cualquier innovación tecnológica [3,4].

La robótica también modifica la relación entre la cirugía y la organización hospitalaria. La necesidad de coordinación entre cirugía, anestesia, enfermería, ingeniería clínica, gestión del bloque quirúrgico y sistemas de información hace que el rendimiento de un programa robótico dependa no solo de la habilidad individual del cirujano, sino también de la madurez organizativa del centro. En programas consolidados, la tecnología se integra dentro de modelos asistenciales multidisciplinares que buscan mejorar reproducibilidad, seguridad, trazabilidad y experiencia del paciente.

Como se ha señalado en el capítulo anterior, la cirugía robótica no constituye una tecnología homogénea, sino un conjunto de plataformas con aplicaciones y objetivos clínicos distintos según la especialidad y el procedimiento. Esta diferencia conceptual condiciona también el proceso asistencial, que adopta matices específicos en cirugía digestiva, urológica, ginecológica y torácica respecto a Cirugía Ortopédica y Traumatología, donde la planificación biomecánica, la navegación y la ejecución guiada definen el núcleo del modelo tecnológico.

Referencias bibliográficas

- **1.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg.* 2004;239(1):14-21. doi:10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d
- **2.** Satava RM. Surgical robotics: the early chronicles, a personal historical perspective. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech.* 2002;12(1):6-16. doi:10.1097/00129689-200202000-00002
- **3.** Porter ME. What is value in health care? *N Engl J Med.* 2010;363(26):2477-81. doi: 10.1056/NEJMp1011024
- **4.** Kehlet H, Wilmore DW. Evidence-based surgical care and the evolution of fast-track surgery. *Ann Surg.* 2008 Aug;248(2):189-98. doi:10.1097/SLA.0b013e31817f2c1a.

4.1. SELECCIÓN, INDICACIÓN Y DECISIÓN MULTIDISCIPLINAR

A diferencia de otras innovaciones centradas exclusivamente en el acto quirúrgico, la cirugía robótica condiciona el conjunto del proceso asistencial. La indicación deja de depender únicamente de la factibilidad técnica y pasa a integrar variables relacionadas con la complejidad anatómica, la comorbilidad, la experiencia del equipo, la disponibilidad organizativa y el potencial impacto sobre la recuperación funcional, las complicaciones y la utilización de recursos hospitalarios. Este enfoque resulta particularmente importante en sistemas sanitarios complejos como el SNS, donde la sostenibilidad y la adecuada priorización de recursos forman parte de la evaluación global de cualquier tecnología sanitaria [14,15].

La evidencia disponible sugiere que los beneficios clínicos de la cirugía robótica son más consistentes en escenarios de elevada exigencia técnica, donde la precisión quirúrgica, la visión tridimensional aumentada y la capacidad de disección fina pueden facilitar abordajes mínimamente invasivos complejos y potencialmente reducir la agresión quirúrgica y la variabilidad técnica [14,16]. Sin embargo, estos beneficios no son uniformes para todos los procedimientos ni para todos los perfiles de pacientes, por lo que la selección adecuada continúa siendo uno de los principales determinantes de valor clínico y organizativo.

La selección de pacientes para cirugía robótica debe basarse en criterios clínicos, anatómicos y técnicos bien definidos, priorizando aquellos casos en los que las ventajas de la plataforma puedan traducirse en una mejora real de los resultados respecto a los abordajes convencionales.[1-5] La evidencia actual respalda un uso selectivo y racional de la cirugía robótica, especialmente en procedimientos complejos realizados en espacios anatómicos reducidos o que requieren disección fina, sutura avanzada y preservación funcional.

La utilización de la cirugía robótica, que como se ha visto tiene beneficios clínicos para el paciente, puede crear inequidades en el Sistema Nacional de Salud. Tanto porque hay centros que disponen de esta tecnología, como porque no todos los pacientes de un centro con plataformas de asistencia robótica pueden realizar todos los procedimientos con esta tecnología.

Es en este contexto donde la selección de pacientes debe realizarse de una forma equilibrada, ajustada a criterios objetivos, de forma que obtengamos los mejores resultados en los grupos de pacientes en los que sea más necesario.

Los factores relacionados con el paciente constituyen un elemento central en la indicación. En general, los pacientes con menor carga de comorbilidad y estadios más precoces de enfermedad son seleccionados con mayor frecuencia para cirugía robótica en estudios poblacionales.[6] Sin embargo, determinados pacientes frágiles o complejos también pueden beneficiarse de las ventajas de la cirugía mínimamente invasiva —menor pérdida sanguínea, recuperación funcional más rápida y menor estancia hospitalaria— siempre que mantengan estabilidad hemodinámica y el riesgo anestésico sea aceptable.[7] Por el contrario, situaciones de insuficiencia cardiorrespiratoria grave o alto riesgo anestésico (ASA III-IV) pueden limitar la indicación en procedimientos robóticos mayores debido al neumoperitoneo prolongado y a tiempos quirúrgicos potencialmente más largos.[4]

Desde el punto de vista anatómico y técnico, la cirugía robótica parece aportar mayor valor en campos operatorios pequeños, profundos y anatómicamente complejos.[4][5] Las indicaciones más sólidas incluyen la pelvis profunda, la cirugía del hilio pulmonar, determinadas resecciones hepatopancreatobiliares y procedimientos reconstructivos complejos. La combinación de visión tridimensional estable, instrumentos articulados y escalado de movimiento resulta especialmente útil en escenarios que requieren disección precisa con preservación neurovascular (como la prostatectomía radical), escisión mesorrectal total, microanastomosis o sutura intracorpórea avanzada.

La evidencia más consistente a favor del abordaje robótico se observa actualmente en determinadas indicaciones oncológicas y reconstructivas. En cáncer de recto —especialmente tumores del tercio medio e inferior— la cirugía robótica se asocia con mayor calidad de la escisión mesorrectal total y mejores márgenes circunferenciales.[1][8] En prostatectomía radical, diversos estudios muestran mejores resultados funcionales urinarios y sexuales respecto a la laparoscopia convencional y menores tasas de recidiva bioquímica frente a cirugía abierta.[9] También existe beneficio

relevante en cirugía hepatopancreatobiliar compleja y en cáncer de endometrio, donde la robótica reduce de forma consistente las tasas de conversión a cirugía abierta.[1][5][9]

En otros procedimientos, como histerectomía benigna compleja, lobectomía torácica o cirugía bariátrica de revisión, la evidencia es más moderada y el beneficio incremental depende fundamentalmente de la complejidad anatómica y de la experiencia del equipo.[3][5][6] Por el contrario, en gran parte de la cirugía general convencional los resultados clínicos suelen ser comparables a los de la laparoscopia, aunque la cirugía robótica mantiene de forma consistente menores tasas de conversión.[9][10].

En el cáncer renal, la cirugía robótica ha permitido la realización mediante cirugía miniinvasiva de tumores cada vez más complejos, que de otra forma hubieran sido subsidiarios de cirugía abierta. También ha permitido rescatar pacientes de una indicación de cirugía radical pudiendo realizar cirugía conservadora renal, con el subsiguiente beneficio en función renal.

La priorización clínica debe integrar no solo el potencial beneficio técnico, sino también criterios de seguridad, efectividad y eficiencia. Diversas sociedades científicas, como el American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG) y la European Association for Endoscopic Surgery (EAES), recomiendan reservar prioritariamente la cirugía robótica para casos de elevada complejidad anatómica o técnica, donde las ventajas tecnológicas puedan justificar los mayores costes y tiempos quirúrgicos.[3][5] Estudios sobre adopción de tecnología quirúrgica muestran además que seguridad, eficacia y resultados clínicos son los factores más valorados en la toma de decisiones, por encima de consideraciones puramente económicas o administrativas.[11]

La indicación robótica debe realizarse idealmente dentro de estructuras organizadas y multidisciplinarias. En cirugía oncológica compleja, la discusión en comités multidisciplinarios resulta especialmente importante para valorar resecabilidad, beneficio esperado, alternativas terapéuticas y adecuación del abordaje robótico. Del mismo modo, la experiencia del cirujano, el volumen del centro y la disponibilidad de programas estructurados de formación y acreditación influyen decisivamente en la seguridad y calidad de la indicación.[13]

Por último, existen importantes factores de sistema y equidad que condicionan el acceso a la cirugía robótica. Los datos poblacionales muestran que estos procedimientos se concentran con mayor frecuencia en hospitales universitarios y centros de alto volumen.[6] Además, se han descrito desigualdades significativas relacionadas con nivel socioeconómico, cobertura sanitaria y raza, lo que pone de manifiesto la necesidad de desarrollar modelos organizativos más homogéneos y equitativos.[12]

En conjunto, la evidencia actual apoya un modelo de selección racional y priorización clínica basado en complejidad anatómica, beneficio potencial para el paciente y experiencia institucional, evitando la sustitución indiscriminada de los abordajes convencionales. La cirugía robótica debe entenderse como una herramienta tecnológica avanzada cuyo mayor valor aparece en escenarios complejos, donde la mejora de la precisión técnica puede traducirse en mejores resultados quirúrgicos y funcionales.[1][5][9]

En cirugía urológica, la prostatectomía radical robótica representa probablemente el modelo más consolidado de integración tecnológica en cirugía oncológica compleja. Diferentes estudios y revisiones sistemáticas han mostrado mejoras en pérdida sanguínea, estancia hospitalaria y recuperación funcional respecto a cirugía abierta, aunque con heterogeneidad en determinados resultados oncológicos y una dependencia significativa del volumen y experiencia del centro [17,18]. En cirugía digestiva, la robótica parece aportar mayor valor en cirugía rectal compleja, obesidad, patología pélvica, reintervenciones y procedimientos tras tratamiento neoadyuvante, escenarios donde las limitaciones técnicas de la laparoscopia convencional son más evidentes [19]. En cirugía torácica y ginecología oncológica, su aplicación se ha concentrado en pacientes complejos —obesidad, antecedentes quirúrgicos previos, anatomía desfavorable—, donde la minimización de la agresión quirúrgica puede tener impacto sobre recuperación, estancia hospitalaria y complicaciones perioperatorias.

Concretamente en ginecología, la indicación de cirugía robótica se concentra fundamentalmente en escenarios de elevada complejidad técnica, donde las características anatómicas del espacio pélvico, la necesidad de disección precisa y la planificación quirúrgica detallada condicionan de forma significativa la

ejecución del procedimiento. Este enfoque resulta especialmente relevante tanto en ginecología oncológica, incluyendo cirugía radical para cáncer de endometrio [25] y ovario inicial, así como linfadenectomías pélvicas y paraaórticas, como en patología benigna compleja, particularmente en miomectomías y en la endometriosis profunda infiltrante [26], donde en esta última la afectación multicompartimental, la distorsión anatómica y la proximidad a estructuras críticas (uréteres, vejiga, recto) exigen un alto grado de precisión técnica y coordinación interdisciplinar. En estos contextos, la selección de pacientes debe orientarse hacia casos en los que la plataforma robótica pueda facilitar un abordaje mínimamente invasivo en situaciones de difícil acceso o elevada exigencia quirúrgica, evitando su uso indiscriminado en procedimientos de baja complejidad.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la lógica de selección presenta características diferenciales respecto a otras especialidades. La robótica no actúa únicamente como una plataforma de acceso mínimamente invasivo, sino como una herramienta de planificación y ejecución biomecánica de precisión. La indicación robótica se relaciona especialmente con procedimientos donde la alineación mecánica, el balance ligamentoso, el posicionamiento protésico y la reproducibilidad técnica condicionan directamente los resultados funcionales y la supervivencia de los implantes [20-22].

Este enfoque adquiere especial relevancia en artroplastia compleja, deformidades anatómicas, cirugía de revisión y determinados procedimientos de columna o fracturas pélvicas, donde pequeñas desviaciones técnicas pueden tener un impacto clínico significativo sobre la estabilidad, la función, el desgaste protésico o la necesidad de reintervención. En estos escenarios, la cirugía robótica permite integrar la planificación preoperatoria, la navegación y la validación intraoperatoria dentro de un mismo entorno tecnológico orientado a reducir variabilidad y mejorar consistencia técnica [20,21].

La selección del paciente en COT debe incorporar además factores funcionales y de recuperación, incluyendo fragilidad, capacidad de rehabilitación, calidad ósea, complejidad anatómica y expectativas funcionales. Las expectativas y el nivel de actividad del paciente constituyen un determinante particularmente importante: el paciente joven, activo o con alta demanda funcional concentra una proporción relevante de los escenarios en

los que la precisión biomecánica puede traducirse en un beneficio clínico tangible, ya sea por la durabilidad esperada del implante o por las exigencias funcionales del retorno a la actividad habitual. Desde esta perspectiva, la decisión robótica no depende únicamente de la dificultad técnica del procedimiento, sino también del potencial impacto sobre la recuperación funcional, la precisión biomecánica y la durabilidad del resultado quirúrgico.

La toma de decisiones en cirugía robótica requiere además una integración multidisciplinar creciente. La complejidad tecnológica y organizativa de estos procedimientos hace necesaria la participación coordinada de cirujanos, anestesiólogos, radiólogos, especialistas en rehabilitación, enfermería especializada, responsables del bloque quirúrgico e ingenieros de programación biomédica. En programas robóticos maduros, la indicación no depende exclusivamente del criterio individual del cirujano, sino de modelos organizativos estructurados que integran experiencia, volumen, complejidad y disponibilidad de recursos.

Desde el punto de vista organizativo, la priorización de casos constituye un elemento particularmente importante durante las fases iniciales de la implantación. La literatura demuestra que los resultados clínicos y la eficiencia de los programas robóticos están estrechamente relacionados con el volumen quirúrgico y la curva de aprendizaje [23,24]. Por ello, la selección inicial de procedimientos debe orientarse preferentemente hacia escenarios donde exista una probabilidad razonable de beneficio clínico y donde la plataforma robótica pueda aportar ventajas diferenciales frente a otras alternativas quirúrgicas.

En la práctica clínica real, esto implica evitar tanto la infrautilización como la expansión indiscriminada de indicaciones. La cirugía robótica no debe plantearse como una tecnología universal aplicable de forma homogénea a cualquier procedimiento, sino como una herramienta de alto valor potencial en escenarios clínicos específicos donde la complejidad técnica, la necesidad de precisión y la optimización del proceso asistencial justifican su utilización dentro de programas estructurados y evaluables. La consolidación futura de modelos asistenciales robóticos en el SNS dependerá en gran medida de la capacidad para desarrollar criterios homogéneos de indicación, integrar decisiones multidisciplinarias y orientar la utilización de la tecnología hacia contextos de verdadero impacto clínico y organizativo.



“La toma de decisiones en cirugía robótica requiere una integración multidisciplinar creciente”



Referencias bibliográficas

- **1.** What Do Randomised Trials Reveal About Robotic Surgery? A Critical Appraisal Across Colorectal, Upper Gastrointestinal, Hepato-Pancreaticobiliary, and General Surgical Specialties. *Journal of Clinical Medicine*. 2025. Geropoulos G, Massias S, Pajaziti Q, et al.
- **2.** How to Prepare the Patient for Robotic Surgery: Before and During the Operation. *Best Practice & Research. Clinical Obstetrics & Gynaecology*. 2017. Lim PC, Kang E.
- **3.** Robot-Assisted Surgery for Noncancerous Gynecologic Conditions: ACOG COMMITTEE OPINION, Number 810. *Obstetrics and Gynecology*. 2020. Guideline
- **4.** Robotics in General Surgery: Personal Experience in a Large Community Hospital. *Archives of Surgery*. 2003. Giulianotti PC, Coratti A, Angelini M, et al.
- **5.** European Association of Endoscopic Surgeons (EAES) Consensus Statement on the Use of Robotics in General Surgery. *Surgical Endoscopy*. 2015. Szold A, Bergamaschi R, Broeders I, et al.
- **6.** The Evolving Use of Robotic Surgery: A Population-Based Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2023. Muaddi H, Stukel TA, de Mestral C, et al.
- **7.** Robotic Technology in Emergency General Surgery Cases in the Era of Minimally Invasive Surgery. *JAMA Surgery*. 2024. Lunardi N, Abou-Zamzam A, Florecki KL, et al.
- **8.** Robot-Assisted Versus Conventional Laparoscopic Surgery for Rectal Cancer. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2024. Willis MA, Toews I, Meerpohl JJ, Kalff JC, Vilz TO.
- **9.** Clinical Outcomes of Robotic Surgery Compared to Conventional Surgical Approaches (Laparoscopic or Open): A Systematic Overview of Reviews. *Annals of Surgery*. 2021. Muaddi H, Hafid ME, Choi WJ, et al.SR
- **10.** Robot-Assisted Surgery in Thoracic and Visceral Indications: An Updated Systematic Review. *Surgical Endoscopy*. 2024. Grössmann-Waniek N, Riegelneegg M, Gassner L, Wild C.SR
- **11.** Ranking Decision-Making Criteria for Early Adoption of Innovative Surgical Technologies. *JAMA Network Open*. 2023. Shoman H, Almeida ND, Tanzer M. Modeling
- **12.** Factors Contributing to the Utilization of Robotic Colorectal Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2023. Hayden DM, Korous KM, Brooks E, et al.SR
- **13.** Committee Opinion No. 628: Robotic Surgery in Gynecology. *Obstetrics and Gynecology*. 2015.
- **14.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg*. 2004;239(1):14-21. doi:10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d
- **15.** Porter ME. What is value in health care? *N Engl J Med*. 2010;23;363(26):2477-81. doi: 10.1056/NEJMp1011024
- **16.** Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191628. doi:10.1371/journal.pone.0191628.
- **17.** Coughlin GD, Yaxley JW, Chambers SK, Occhipinti S, Samaratunga H, Zajdlewicz L, Teloken P, Dunglison N, Williams S, Lavin MF, Gardiner RA. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retropubic prostatectomy: 24-month outcomes from a randomised controlled study. *Lancet Oncol*. 2018;19(8):1051-1060. doi: 10.1016/S1470-2045(18)30357-7
- **18.** Novara G, Ficarra V, Rosen RC, Artibani W, Costello A, Eastham JA, Graefen M, Guazzoni G, Shariat SF, Stolzenburg JU, Van Poppel H, Zattoni F, Montorsi F, Mottrie A, Wilson TG. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol*. 2012;62(3):431-52. doi: 10.1016/j.eururo.2012.05.044.
- **19.** Prete FP, Pezzolla A, Prete F, Testini M, Marzaioli R, Patriti A, Jimenez-Rodriguez RM, Gurrado A, Strippoli GFM. Robotic Versus Laparoscopic Minimally Invasive Surgery for Rectal Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Ann Surg*. 2018;267(6):1034-1046. doi:10.1097/SLA.0000000000002523.

→ **20.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdom A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Nov 21;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.

→ **21.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.

→ **22.** Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi: 10.1016/j.arth.2020.03.005.

→ **23.** Birkmeyer JD, Stukel TA, Siewers AE, Goodney PP, Wennberg DE, Lucas FL. Surgeon volume and operative mortality in the United States. *N Engl J Med.* 2003;349(22):2117-27. doi: 10.1056/NEJMSa035205.

→ **24.** Ahmed K, Khan R, Mottrie A, Lovegrove C, Abaza R, Ahlawat R, Ahlering T, Ahlgren G, et al. Development of a standardised training curriculum for robotic surgery: a consensus statement from an international multidisciplinary group of experts. *BJU Int.* 2015 ;116(1):93-101. doi: 10.1111/bju.12974.

→ **25.** Kalas N, Lintner B, Sebők B, Vida B, Lóczy L, Merkely P, Bánhidly F, Ács N, Tóth R, Keszthelyi M. Robotic-assisted surgery versus conventional laparoscopy in endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Surg Oncol.* 2026 May 12;52(8):111861. doi: 10.1016/j.ejso.2026.111861. Epub ahead of print. PMID: 42235434.

→ **26.** Pavone M, Baroni A, Campolo F, Goglia M, Raimondo D, Carcagnì A, Akladios C, Marescaux J, Fanfani F, Scambia G, Ianieri MM. Robotic assisted versus laparoscopic surgery for deep endometriosis: a meta-analysis of current evidence. *J Robot Surg.* 2024 May 16;18(1):212. doi: 10.1007/s11701-024-01954-2. PMID: 38753180; PMCID: PMC11098866.

Referencias complementarias

→ Julien Sarkis, Cecile M. Champy, Nicolas Doumerc, et.al.. Robot-assisted partial nephrectomy for hilar and nonhilar renal masses: comparison of perioperative, oncological, and functional results (NEPRAH study, UroCCR 175). *Eur Urol Oncol.* 2024. doi:10.1016/j.euo.2024.06.006.

→ Carlo Andrea Bravi, Alessandro Larcher, Umberto Capitanio, et.al. Perioperative Outcomes of Open, Laparoscopic, and Robotic Partial Nephrectomy: A Prospective Multicenter Observational Study (The RECORD 2 Project). *European Urology Focus Volume 7, Issue 2, March 2021, Pages 390-396*

4.2. PREPARACIÓN DEL PACIENTE Y PLANIFICACIÓN PREOPERATORIA AVANZADA

La preparación del paciente constituye una fase crítica dentro del proceso asistencial en cirugía robótica. Aunque los principios generales de optimización preoperatoria son compartidos con otros modelos quirúrgicos, la robótica incrementa la importancia de la planificación estructurada, la integración de imagen y la anticipación técnica del procedimiento. Una parte relevante del valor de la cirugía robótica se desplaza desde la ejecución intraoperatoria hacia las fases previas de preparación y estrategia quirúrgica.

La optimización preoperatoria incluye aspectos clásicos como valoración anestésica, control de comorbilidades, ajuste nutricional, manejo de la fragilidad, corrección de la anemia, optimización respiratoria y preparación funcional del paciente. En cirugía robótica, estos elementos adquieren particular importancia debido a la complejidad logística del procedimiento, la necesidad de minimizar conversiones y la importancia de mantener circuitos quirúrgicos eficientes y previsibles. La integración de protocolos de rehabilitación y recuperación intensificada puede contribuir además a reducir complicaciones, estancia hospitalaria y variabilidad asistencial [1,2].

La planificación preoperatoria avanzada representa una de las principales diferencias entre la cirugía robótica y otros modelos quirúrgicos convencionales. La utilización de imagen de alta resolución, reconstrucciones tridimensionales, navegación y simulación permite anticipar dificultades anatómicas, definir trayectorias quirúrgicas y adaptar la estrategia operatoria al perfil específico de cada paciente. Este enfoque resulta particularmente útil en procedimientos complejos, donde pequeñas variaciones anatómicas pueden condicionar de forma significativa la seguridad y la calidad técnica.

La preparación preoperatoria en cirugía robótica ha evolucionado hacia un modelo integral que combina rehabilitación, optimización clínica, planificación anatómica avanzada e integración de imagen para personalizar la estrategia quirúrgica y mejorar los resultados perioperatorios.[3-8] Este enfoque resulta especialmente relevante en cirugía oncológica compleja y procedimientos reconstructivos, donde la precisión técnica y la planificación condicionan de forma importante la seguridad y los resultados.

La rehabilitación multimodal —basada en ejercicio, soporte nutricional y optimización psicosocial— ha demostrado reducir complicaciones y mejorar la recuperación tras cirugía mayor.[3] En cirugía robótica, la combinación de programas de rehabilitación con protocolos ERAS (“Enhanced Recovery After Surgery”) se asocia con menor estancia hospitalaria, menor pérdida sanguínea y recuperación más rápida, sin aumento de complicaciones ni reintegros.[4] Estos beneficios parecen especialmente útiles en pacientes frágiles o con múltiples comorbilidades.[5-6]

La planificación quirúrgica avanzada basada en TC y RM tridimensionales constituye otro de los grandes avances de la cirugía robótica. Las reconstrucciones 3D específicas del paciente permiten comprender mejor la anatomía, identificar variantes vasculares, definir márgenes y anticipar pasos críticos antes de la cirugía.[7-8] En procedimientos complejos —como nefrectomía parcial, prostatectomía o cirugía hepatopancreatobiliar— esta planificación se ha asociado con menor tiempo operatorio, menor sangrado y mayor precisión quirúrgica.[10-12]

La realidad virtual y la simulación preoperatoria amplían además estas capacidades, permitiendo ensayar procedimientos complejos, optimizar la colocación de puertos y mejorar la comunicación del equipo quirúrgico.[14-16] Del mismo modo, la integración de realidad aumentada y navegación intraoperatoria comienza a permitir la superposición de modelos anatómicos virtuales sobre el campo quirúrgico real, facilitando una disección más precisa y personalizada.[7][16]. Cabe destacar en este sentido la utilización de ecografía intraoperatoria con dispositivos integrados en la plataforma robótica, de máxima utilidad en cirugía hepatobiliopancreática y en cirugía renal.

A pesar de estos avances, la evidencia disponible sigue siendo limitada y procede principalmente de estudios unicéntricos con tamaños muestrales pequeños.[3] Además, la segmentación anatómica y el procesamiento de imágenes continúan siendo complejos y requieren tiempo y recursos especializados. Sin embargo, la tendencia actual apunta hacia una cirugía robótica cada vez más basada en planificación personalizada, integración de imagen y optimización perioperatoria, donde la estrategia quirúrgica comienza mucho antes de la entrada en quirófano.

En cirugía digestiva, ginecológica y torácica, la planificación basada en imagen permite valorar extensión tumoral, relaciones vasculares, anatomía broncovascular, fibrosis o cambios secundarios a tratamientos previos. En cirugía rectal compleja, la resonancia magnética

preoperatoria tiene un papel central en la planificación de la disección pélvica y en la evaluación de márgenes y planos anatómicos. En cirugía torácica, la reconstrucción vascular y bronquial puede facilitar resecciones anatómicas complejas mediante abordajes mínimamente invasivos. En cirugía urológica, la integración de imagen multiparamétrica y reconstrucción anatómica tridimensional ha adquirido especial peso en procedimientos como la prostatectomía radical o la nefrectomía parcial, donde anticipar relaciones vasculares, localización tumoral o variaciones anatómicas puede facilitar estrategias más conservadoras y mejorar la planificación de la preservación funcional. En ginecología oncológica, la planificación avanzada resulta particularmente útil en cirugía compleja, pacientes obesas, reintervenciones o procedimientos con afectación anatómica extensa, e integra además aspectos relacionados con riesgo tromboembólico, optimización funcional y recuperación precoz.

Es de especial interés en la cirugía renal conservadora: este tipo de reconstrucciones permite al cirujano un conocimiento profundo del campo quirúrgico y de las relaciones del tumor con el resto del tejido, mejorando la tasa de conservación de nefronas. No obstante, cabe destacar que la utilización de estos modelos tridimensionales supone un coste extra dentro del procedimiento, y que deben ser utilizados de forma selectiva. En cualquier caso, dentro de los hospitales del SNS se están desarrollando unidades de bioimpresión e imagen avanzada que permiten la producción de estos modelos a un menor coste.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la planificación preoperatoria constituye uno de los pilares centrales de la cirugía robótica y probablemente el elemento diferencial más relevante respecto a otras especialidades. A diferencia de los sistemas robóticos orientados principalmente hacia la disección o la reconstrucción intracorpórea, en COT el núcleo tecnológico se basa en la capacidad de transformar la información anatómica y la imagen avanzada en una ejecución biomecánica precisa y reproducible, lo que supone un cambio de paradigma sustancial.

La utilización del TAC preoperatorio, las reconstrucciones tridimensionales y las plataformas de navegación permite definir antes de la cirugía parámetros como alineación mecánica, balance ligamentoso, tamaño y posición de los implantes, límites de resección o trayectorias de seguridad. Este enfoque convierte la planificación en un elemento dinámico del procedimiento y no únicamente en una referencia estática previa a la cirugía: la estrategia quirúrgica puede adaptarse de forma individualizada

a las características anatómicas, funcionales y biomecánicas de cada paciente, reduciendo potencialmente la variabilidad técnica entre procedimientos [18-20].

En artroplastia de rodilla y cadera, la planificación robótica permite integrar objetivos biomecánicos personalizados relacionados con alineación biomecánica, balance, restauración anatómica y estabilidad protésica. La posibilidad de validar intraoperatoriamente determinados parámetros y modificar el plan durante la cirugía representa una diferencia relevante respecto a técnicas convencionales basadas exclusivamente en referencias anatómicas manuales, y permite relacionar de forma más estrecha planificación, ejecución y resultado funcional.

En cirugía de columna, la integración de navegación y planificación tridimensional puede facilitar trayectorias más precisas para la colocación de tornillos pediculares e implantes, especialmente en deformidades, revisiones o anatomías complejas. En determinados procedimientos de trauma, la planificación guiada puede ayudar a optimizar abordajes percutáneos y reducir la dependencia de la fluoroscopia repetida.

La simulación quirúrgica y la planificación digital representan también herramientas relevantes para la formación y la estandarización. La posibilidad de revisar casos complejos, ensayar estrategias quirúrgicas y anticipar incidencias puede contribuir a reducir la variabilidad y mejorar la coordinación del equipo. En programas robóticos maduros, la planificación deja de ser una actividad individual del cirujano y pasa a integrarse dentro de un proceso multidisciplinar que involucra a radiología, anestesia, enfermería y soporte tecnológico.

Desde una perspectiva organizativa, la planificación preoperatoria avanzada tiene implicaciones directas sobre la eficiencia y la utilización de los recursos. Una preparación adecuada puede reducir tiempos intraoperatorios, minimizar incidencias técnicas y favorecer circuitos quirúrgicos más previsibles. La cirugía robótica no solo modifica cómo se opera, sino también cómo se planifica y organiza la cirugía antes de entrar en el quirófano. En la práctica clínica, la principal aportación de la planificación avanzada no reside únicamente en disponer de más información anatómica, sino en transformar esa información en decisiones quirúrgicas más precisas, reproducibles y adaptadas a cada paciente. En COT, este principio adquiere particular peso porque la relación entre planificación biomecánica, ejecución técnica y resultado funcional es especialmente estrecha.

Referencias bibliográficas

- **1.** Kehlet H, Wilmore DW. Evidence-based surgical care and the evolution of fast-track surgery. *Ann Surg.* 2008 Aug;248(2):189-98. doi:10.1097/SLA.0b013e-31817f2c1a.
- **2.** Ljungqvist O, Scott M, Fearon KC. Enhanced Recovery After Surgery: A Review. *JAMA Surg.* 2017 Mar 1;152(3):292-298. doi: 10.1001/jamasurg.2016.4952.
- **3.** Relative Efficacy of Prehabilitation Interventions and Their Components: Systematic Review With Network and Component Network Meta-Analyses of Randomised Controlled Trials. *BMJ.* 2025. McIsaac DI, Kidd G, Gillis C, et al.SR
- **4.** A Combination of Enhanced Recovery After Surgery and Prehabilitation Pathways Improves Perioperative Outcomes and Costs for Robotic Radical Prostatectomy. *Cancer.* 2020. Ploussard G, Almeras C, Beauval JB, et al.
- **5.** Clinical Practice Guidelines for Enhanced Recovery After Colon and Rectal Surgery From the American Society of Colon and Rectal Surgeons and the Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons. *Diseases of the Colon and Rectum.* 2023. Irani JL, Hedrick TL, Miller TE, et al.Guideline
- **6.** Clinical Practice Guidelines for Enhanced Recovery After Colon and Rectal Surgery From the American Society of Colon and Rectal Surgeons and the Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons. *Surgical Endoscopy.* 2023. Irani JL, Hedrick TL, Miller TE, et al.Guideline
- **7.** 3D Imaging Applications for Robotic Urologic Surgery: An ESUT YAUWP Review. *World Journal of Urology.* 2020. Checcucci E, Amparore D, Fiori C, et al.
- **8.** Methods and Applications of 3D Patient-Specific Virtual Reconstructions in Surgery. *Advances in Experimental Medicine and Biology.* 2022. Fletcher J.
- **9.** Three-dimensional computed tomography-based resection process map for robot-assisted partial nephrectomy: propensity score matching of a single-center retrospective study. *Journal of Surgical Oncology.* 2024. Okada A, Ohashi K, Hashimoto H, et al.
- **10.** The Use of 3-Dimensional, Virtual Reality Models for Surgical Planning of Robotic Partial Nephrectomy. *Urology.* 2019. Shirk JD, Kwan L, Saigal C.
- **11.** Effect of 3-Dimensional, Virtual Reality Models for Surgical Planning of Robotic Prostatectomy on Trifecta Outcomes: A Randomized Clinical Trial. *The Journal of Urology.* 2022. Shirk JD, Reiter R, Wallen EM, et al.RCT
- **12.** Patient-Specific Virtual Three-Dimensional Surgical Navigation for Gastric Cancer Surgery: A Prospective Study for Preoperative Planning and Intraoperative Guidance. *Frontiers in Oncology.* 2023. Park SH, Kim KY, Kim YM, Hyung WJ.
- **13.** The clinical application value of mixed-reality-assisted surgical navigation for laparoscopic nephrectomy. *Cancer Medicine.* 2020. Li G, Dong J, Wang J, et al.
- **14.** Optimizing Surgical Performance Using Preoperative Virtual Reality Planning: A Systematic Review. *World Journal of Surgery.* 2023. Laskay NMB, George JA, Knowlin L, et al.SR
- **15.** Developing a Virtual Reality Simulation System for Preoperative Planning of Robotic-Assisted Thoracic Surgery. *Journal of Clinical Medicine.* 2024. Ujiie H, Chiba R, Yamaguchi A, et al.
- **16.** Robotic Partial Nephrectomy in 3D Virtual Reconstructions Era: Is the Paradigm Changed?. *World Journal of Urology.* 2022. Amparore D, Piramide F, De Cillis S, et al.
- **17.** A Free Method for Patient-Specific 3d-Vr Anatomical Modeling for Presurgical Planning Using DICOM Images and Open-Source Software. *Methods.* 2025. Ells Z, Ludwig V, Weiner AB, et al.
- **18.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdom A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Nov 21;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.
- **19.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
- **20.** Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi: 10.1016/j.arth.2020.03.005.

4.3. PLANIFICACIÓN INTEGRADA QUIRÚRGICO-ANESTÉSICA Y ORGANIZACIÓN

La cirugía robótica requiere un modelo de organización quirúrgica más estructurado que la cirugía convencional. Aunque los principios generales de coordinación perioperatoria son comunes a cualquier procedimiento complejo, la integración de plataformas robóticas introduce necesidades específicas relacionadas con logística, secuencia operatoria, gestión tecnológica y sincronización entre equipos. El rendimiento de un programa robótico depende no solo de la habilidad técnica del cirujano, sino también de la capacidad organizativa del centro y de la coordinación multidisciplinar del bloque quirúrgico [1, 2].

La planificación integrada comienza antes de la entrada del paciente en el quirófano. Preparación del instrumental, disponibilidad de la plataforma, programación del procedimiento, selección del material específico y verificación de los sistemas tecnológicos requieren circuitos coordinados entre cirugía, anestesia, enfermería, esterilización, ingeniería clínica y gestión del bloque quirúrgico. La complejidad logística aumenta especialmente en hospitales con elevada presión asistencial o con plataformas compartidas entre distintas especialidades.

Existe evidencia sólida sobre la necesidad de una planificación integrada entre cirugía, anestesia y organización del quirófano en cirugía robótica. Diversas declaraciones de consenso multidisciplinarias destacan que el éxito y la seguridad de estos procedimientos dependen de una coordinación estrecha entre cirujanos, anestelistas, enfermería e ingeniería clínica, especialmente debido a la complejidad tecnológica, el neumoperitoneo prolongado, la posición extrema del paciente y las exigencias logísticas del entorno robótico.

Las recomendaciones actuales enfatizan la planificación conjunta de aspectos clave como posicionamiento del paciente, estrategia ventilatoria, manejo hemodinámico, bloqueo neuromuscular, monitorización y recuperación postoperatoria. En cirugía robótica pediátrica y de alta complejidad, los consensos internacionales subrayan además la importancia de protocolos compartidos y comunicación estructurada entre los equipos para minimizar riesgos y mejorar la seguridad.

La organización del quirófano constituye otro aspecto crítico. Estudios basados en ingeniería de factores humanos muestran que la cirugía robótica requiere rediseñar flujos de trabajo, distribución del espacio, secuenciación de tareas y asignación de roles. Intervenciones organizativas como checklists, paneles de control, tareas paralelas y modelos inspirados en “pit-stop” de competición han logrado reducir de forma significativa los tiempos de rotación y mejorar la eficiencia operativa. Asimismo, el tamaño y diseño del quirófano, el ruido ambiental y la disposición de la consola y los carros robóticos influyen directamente en el rendimiento y la carga de trabajo del equipo.

En este sentido, es destacable que un quirófano de cirugía robótica requiere especificaciones técnicas y de diseño diferentes a un quirófano convencional. No se puede instalar una plataforma robótica en cualquier quirófano. Atendiendo en concreto a las plataformas robóticas de cirugía visceral, supone otro reto organizativo, y es el desarrollo de jornadas quirúrgicas que combinen las necesidades de los diferentes servicios médicos implicados: cirugía torácica, cirugía general, urología, ginecología, e incluso cirugía maxilofacial y otorrinolaringología. Una organización que permita un flujo de trabajo que expanda la utilización de una misma plataforma, con jornadas quirúrgicas extendidas o jornadas de tarde. Una estrategia organizativa esencial para aumentar el volumen de procedimientos anuales, reducir las listas de espera y garantizar la sostenibilidad y amortización financiera del equipamiento tecnológico dentro del SNS.

Las interrupciones del flujo quirúrgico y los problemas de comunicación representan una de las principales fuentes de ineficiencia y riesgo. Revisiones recientes identifican como causas frecuentes las fallas de coordinación, problemas tecnológicos, déficit de entrenamiento y limitaciones en habilidades no técnicas. Por ello, cada vez se da más importancia a la formación interdisciplinar, simulación de escenarios críticos, entrenamiento en comunicación y protocolos de desacoplamiento o emergencia.

La enfermería robótica también ha adquirido un papel altamente especializado. Estudios internacionales han definido competencias específicas relacionadas con posicionamiento seguro, manejo del sistema robótico, calibración de instrumental y procedimientos de emergencia, destacando la necesidad de formación estructurada y entrenamiento supervisado.

La enfermería especializada constituye igualmente un elemento central del programa robótico. El conocimiento específico del instrumental, las plataformas, la secuencia quirúrgica y la resolución de incidencias técnicas influye de forma directa en la eficiencia y la seguridad del procedimiento. En programas consolidados, la estandarización de roles y la estabilidad de los equipos contribuyen significativamente a reducir variabilidad y mejorar tiempos operatorios.

Desde el punto de vista anestésico, la cirugía robótica requiere planificación específica debido a los efectos fisiológicos del neumoperitoneo y del Trendelenburg prolongado sobre ventilación, retorno venoso y presión intracraneal. Por ello, la evaluación preoperatoria, la optimización clínica y la coordinación continua con el equipo quirúrgico son elementos esenciales para mantener seguridad y eficiencia.

En conjunto, la evidencia actual muestra que la cirugía robótica no depende únicamente de la habilidad técnica del cirujano, sino de la capacidad de integrar de forma coordinada tecnología, anestesia, logística y trabajo multidisciplinar. Los programas más eficientes y seguros son aquellos que desarrollan protocolos estructurados, entrenamiento conjunto y sistemas organizativos específicos para el entorno robótico.

En cirugía robótica de consola, la organización intraoperatoria adquiere características particulares. Posición del paciente, colocación de los trocares, acoplamiento del robot, disposición de la torre anestésica, localización del instrumental y distribución física del equipo condicionan directamente la fluidez y la seguridad del procedimiento. La coordinación entre el cirujano en la consola, el ayudante a pie de campo, la anestesia y la enfermería debe estar altamente protocolizada para minimizar tiempos muertos, colisiones instrumentales e incidencias durante la intervención [1,2].

El papel de la anestesia en cirugía robótica presenta también particularidades relevantes. Determinadas posiciones quirúrgicas prolongadas, el neumoperitoneo mantenido y las limitaciones de acceso físico al paciente tras el docking obligan a una planificación anestésica especialmente cuidadosa. La posición de Trendelenburg extremo, característica de la cirugía pélvica robótica, puede asociarse a alteraciones hemodinámicas, ventilatorias y de presión intraocular

que exigen un control específico, sobre todo en procedimientos prolongados o en pacientes con comorbilidad cardiovascular o respiratoria significativa. El manejo de la presión intraabdominal, el control de la oxigenación, la prevención de edema facial y de complicaciones posicionales y la planificación de la analgesia perioperatoria forman parte de un modelo anestésico específico que requiere experiencia y protocolización. La coordinación entre cirugía y anestesia es esencial para optimizar tiempos quirúrgicos, estabilidad hemodinámica y manejo perioperatorio [3].

Las necesidades organizativas difieren de forma significativa entre las plataformas robóticas de consola y los sistemas de navegación o ejecución biomecánica utilizados en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Mientras que en cirugía digestiva, urológica, ginecológica o torácica la organización gira principalmente en torno a telemanipulación, docking y cirugía intracorpórea compleja, en COT el modelo organizativo se basa en la integración entre imagen avanzada, planificación digital, navegación y ejecución biomecánica guiada.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, el quirófano evoluciona hacia un entorno progresivamente más digitalizado, donde la coordinación entre la planificación preoperatoria, el registro anatómico intraoperatorio y la validación técnica resulta esencial. La preparación del procedimiento requiere integrar TAC preoperatorio, reconstrucciones tridimensionales, calibración de sistemas, referencias anatómicas y validación espacial de instrumentos e implantes. La precisión final depende no solo de la ejecución quirúrgica, sino también de la calidad del registro anatómico y de la correcta sincronización entre plataforma robótica, navegación e imagen intraoperatoria [4-6].

En artroplastia robótica, la organización quirúrgica incluye fases específicas de validación biomecánica intraoperatoria, evaluación del balance ligamentoso, comprobación dinámica de la alineación y adaptación del plan quirúrgico durante la cirugía. Esto obliga a una coordinación continua entre cirugía, anestesia, enfermería y soporte tecnológico para mantener la estabilidad del campo quirúrgico y la precisión de los registros. La relación entre planificación y ejecución es especialmente estrecha, por lo que pequeños errores organizativos o de calibración pueden comprometer la precisión final del procedimiento [4,5].

En cirugía de columna y en determinados procedimientos de trauma, la integración de navegación, fluoroscopia y planificación guiada añade necesidades específicas relacionadas con posicionamiento del paciente, control radiológico, disposición espacial del instrumental y ergonomía del quirófano. En estos escenarios, la organización del procedimiento influye de forma directa sobre precisión, seguridad y eficiencia operatoria.

Desde una perspectiva organizativa, la curva de aprendizaje no afecta únicamente al cirujano, sino al conjunto del equipo quirúrgico. Los programas robóticos maduros suelen mostrar una reducción progresiva de los tiempos de preparación, calibración, intercambio instrumental e incidencias técnicas conforme aumenta la experiencia colectiva del bloque quirúrgico. Este aprendizaje organizativo constituye uno de los factores más relevantes para mejorar eficiencia y sostenibilidad [7,8].

La planificación integrada también tiene implicaciones sobre la utilización de los recursos y la programación quirúrgica. La cirugía robótica exige tiempos específicos de preparación y mantenimiento, así como una gestión eficiente de las plataformas compartidas entre distintos servicios. En sistemas sanitarios con recursos limitados, la optimización del uso de la plataforma y la adecuada selección de procedimientos forman parte esencial de la sostenibilidad del programa.

En la práctica clínica, el éxito de un programa robótico depende tanto de la tecnología como de la organización asistencial que la rodea. La robótica no sustituye la coordinación del equipo quirúrgico, sino que hace más visible la necesidad de integrar cirugía, anestesia, enfermería, navegación, imagen y logística dentro de un modelo asistencial estructurado, reproducible y orientado a la seguridad y la eficiencia.



Referencias bibliográficas

- **1.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg.* 2004;239(1):14-21. doi:10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d
- **2.** Ahmed K, Khan R, Motttrie A, Lovegrove C, Abaza R, Ahlawat R, Ahlring T, Ahlgren G, et al. Development of a standardised training curriculum for robotic surgery: a consensus statement from an international multidisciplinary group of experts. *BJU Int.* 2015 ;116(1):93-101. doi: 10.1111/bju.12974.
- **3.** Kehlet H, Wilmore DW. Evidence-based surgical care and the evolution of fast-track surgery. *Ann Surg.* 2008 Aug;248(2):189-98. doi:10.1097/SLA.0b013e-31817f2c1a.
- **4.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdum A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Nov 21;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.
- **5.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
- **6.** Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi: 10.1016/j.arth.2020.03.005.
- **7.** Ahmed K, Khan R, Motttrie A, Lovegrove C, Abaza R, Ahlawat R, Ahlring T, Ahlgren G, et al. Development of a standardised training curriculum for robotic surgery: a consensus statement from an international multidisciplinary group of experts. *BJU Int.* 2015 ;116(1):93-101. doi: 10.1111/bju.12974.
- **8.** Ljungqvist O, Scott M, Fearon KC. Enhanced Recovery After Surgery: A Review. *JAMA Surg.* 2017 Mar 1;152(3):292-298. doi: 10.1001/jamasurg.2016.4952.

Referencias complementarias

- The Application of Human Factors Engineering to Reduce Operating Room Turnover in Robotic Surgery. *World Journal of Surgery.* 2022. Cohen TN, Anger JT, Shamash K, et al.
- Reducing Operating Room Turnover Time for Robotic Surgery Using a Motor Racing Pit Stop Model. *World Journal of Surgery.* 2017. Souders CP, Catchpole KR, Wood LN, et al.
- Exploring the Impact of the Physical Environment on Robotic-Assisted Surgery Outcomes and Processes: A Scoping Review. *Human Factors.* 2025. Kennedy S, Fuller P, Cha JS, et al.
- How to Prepare the Patient for Robotic Surgery: Before and During the Operation. *Best Practice & Research. Clinical Obstetrics & Gynaecology.* 2017. Lim PC, Kang E.
- Factors Affecting Workflow in Robot-Assisted Surgery: A Scoping Review. *Surgical Endoscopy.* 2022. Poulsen JL, Bruun B, Oestergaard D, Spanager L.
- Work-System Interventions in Robotic-Assisted Surgery: A Systematic Review Exploring the Gap Between Challenges and Solutions. *Surgical Endoscopy.* 2021. Kanji F, Catchpole K, Choi E, et al. SR
- Identifying Curriculum Content for Operating Room Nurses Involved in Robotic-Assisted Surgery: A Delphi Study. *Surgical Endoscopy.* 2023. Møller L, Hertz P, Grande U, et al.
- Integrative Literature Review Examining Factors Affecting Patient Safety With Robotic-Assisted and Laparoscopic Surgeries. *Journal of Nursing Scholarship : An Official Publication of Sigma Theta Tau International Honor Society of Nursing.* 2018. Mathew R, Markey K, Murphy J, Brien BO.

4.4. EJECUCIÓN INTRAOPERATORIA Y MANEJO POSTOPERATORIO (ERAS)

La ejecución intraoperatoria en cirugía robótica mantiene los principios fundamentales de la cirugía mínimamente invasiva, pero incorpora características técnicas y organizativas que modifican la forma de realizar el procedimiento y de gestionar la recuperación postoperatoria. La precisión de la disección, la estabilidad de la imagen, la articulación instrumental y la integración progresiva de la navegación y la imagen avanzada permiten desarrollar procedimientos complejos dentro de entornos potencialmente más controlados y reproducibles [1,2].

No obstante, el impacto clínico de la cirugía robótica no depende únicamente de la tecnología intraoperatoria. La recuperación del paciente está estrechamente relacionada con la integración de protocolos perioperatorios estructurados, especialmente aquellos basados en estrategias ERAS (Enhanced Recovery After Surgery). Robótica y programas de recuperación intensificada deben entenderse como elementos complementarios dentro de un mismo modelo asistencial orientado a reducir agresión quirúrgica, complicaciones y variabilidad clínica [3,4].

Durante la fase intraoperatoria, la cirugía robótica puede facilitar disecciones más precisas, menor manipulación tisular y reconstrucciones intracorpóreas complejas en determinados procedimientos. En cirugía digestiva, estas ventajas resultan particularmente útiles en cirugía rectal, bariátrica y procedimientos reconstructivos complejos. En urología, la prostatectomía radical y la cirugía renal parcial representan modelos consolidados de integración entre precisión técnica y recuperación funcional, modelos que han acumulado una enorme experiencia que ha permitido analizar el impacto de esta tecnología de forma muy precisa. En cirugía torácica, la robótica ha permitido ampliar las posibilidades de resección anatómica mínimamente invasiva en escenarios de elevada complejidad anatómica. En ginecología, su aplicación se ha centrado en cirugía oncológica compleja y pacientes con obesidad, donde la reducción de la agresión quirúrgica puede contribuir a una recuperación más precoz y a una menor estancia hospitalaria. La magnitud del beneficio clínico continúa dependiendo de factores como experiencia del centro, selección del paciente y complejidad del procedimiento.

La cirugía robótica no elimina el riesgo de complicaciones intraoperatorias o postoperatorias. Lesiones vasculares, sangrado, conversiones, incidencias relacionadas con el posicionamiento prolongado, colisiones instrumentales o dificultades técnicas continúan formando parte de la práctica quirúrgica real. La diferencia es que la robótica puede ofrecer un entorno técnico potencialmente más estable para afrontar procedimientos complejos, siempre dentro de programas estructurados y con equipos adecuadamente entrenados [1,5].

“En conjunto, la evidencia demuestra que los programas robóticos más eficientes y seguros son aquellos que integran tecnología, logística y trabajo multidisciplinar”

La cirugía robótica requiere una planificación integrada entre cirugía, anestesia y organización del quirófano debido a la complejidad tecnológica, el neuromoperitoneo prolongado y las necesidades específicas de posicionamiento y coordinación del equipo. La evidencia disponible destaca que la seguridad y eficiencia dependen de protocolos estructurados, comunicación multidisciplinar y entrenamiento conjunto entre cirujanos, anestesistas y enfermería.

Los estudios de organización quirúrgica muestran que la optimización de flujos de trabajo, distribución del quirófano, asignación de roles y uso de checklists puede reducir significativamente los tiempos de rotación y mejorar la eficiencia operativa. Asimismo, las interrupciones del flujo quirúrgico y los fallos de comunicación representan una fuente importante de riesgo, lo que ha impulsado el desarrollo de programas de simulación, entrenamiento interdisciplinar y protocolos específicos de emergencia y desacoplamiento.

La enfermería robótica ha adquirido además un rol altamente especializado, con competencias específicas en posicionamiento seguro, manejo del sistema robótico y respuesta ante incidencias técnicas. Desde el punto de vista anestésico, la cirugía robótica requiere una planificación cuidadosa de la ventilación, el manejo hemodinámico y la monitorización fisiológica durante procedimientos prolongados y posiciones extremas.

En conjunto, la evidencia demuestra que los programas robóticos más eficientes y seguros son aquellos que integran tecnología, logística y trabajo multidisciplinar mediante modelos organizativos específicos y altamente protocolizados.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la lógica intraoperatoria presenta características diferenciales respecto a la cirugía robótica abdominal o torácica. El objetivo principal no suele ser la disección intracorpórea compleja, sino la ejecución biomecánica precisa de un plan quirúrgico previamente definido. La cirugía robótica en COT integra navegación, validación intraoperatoria y control dinámico de los parámetros técnicos con el objetivo de reducir variabilidad y mejorar reproducibilidad del procedimiento [6–8].

En artroplastia robótica, la ejecución intraoperatoria no se limita al posicionamiento estático de los implantes. La cirugía integra fases dinámicas de validación anatómica y biomecánica, incluyendo comprobación de la alineación, balance ligamentoso, estabilidad articular y adaptación funcional del plan quirúrgico durante la intervención. La posibilidad de modificar cortes, tensiones o posicionamiento protésico en tiempo real permite ajustar la ejecución a las características anatómicas y funcionales específicas de cada paciente. Esta integración entre planificación, navegación y validación intraoperatoria constituye una de las principales diferencias respecto a técnicas convencionales basadas exclusivamente en referencias anatómicas manuales. La precisión robótica no debe interpretarse únicamente como exactitud geométrica, sino como capacidad para reproducir los objetivos funcionales previamente definidos y reducir la variabilidad biomecánica entre procedimientos [6,7].

En cirugía de columna y en determinados procedimientos de trauma, la navegación robótica puede facilitar trayectorias más precisas para la colocación de

implantes y reducir la dependencia de la fluoroscopia repetida. La integración entre navegación, imagen intraoperatoria y control espacial permite desarrollar procedimientos percutáneos o mínimamente invasivos con mayor precisión técnica, especialmente en anatomías complejas o de difícil acceso. Conviene matizar que, aunque los resultados técnicos y radiológicos son prometedores, la evidencia disponible es más sólida para la precisión de la colocación que para resultados funcionales o supervivencia a largo plazo de los implantes.

Desde el punto de vista postoperatorio, la integración de los protocolos ERAS constituye uno de los elementos más relevantes del proceso asistencial robótico. Reducción del dolor, movilización precoz, optimización analgésica multimodal, control de náuseas, recuperación funcional temprana y disminución de la estancia hospitalaria forman parte de las estrategias orientadas a mejorar la experiencia y la recuperación del paciente [3].

En cirugía digestiva, urológica y ginecológica, los protocolos ERAS han demostrado beneficios consistentes en recuperación funcional y reducción de complicaciones



cuando se aplican de forma estructurada. En cirugía torácica, la recuperación intensificada adquiere particular importancia debido al impacto respiratorio del procedimiento y a la necesidad de movilización precoz. Conviene precisar, no obstante, que cuando la cirugía robótica se integra en programas ERAS los beneficios observados son difíciles de atribuir aisladamente a la tecnología o al protocolo perioperatorio, ya que ambos componentes actúan de forma simultánea y sinérgica. Esta dificultad metodológica no resta valor al modelo asistencial integrado, pero exige prudencia al interpretar los resultados como atribuibles exclusivamente a la robótica.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, los programas de recuperación rápida tienen una relevancia particularmente importante. En artroplastia, movilización precoz, control multimodal del dolor, reducción del sangrado y optimización funcional temprana forman parte esencial del resultado clínico global. La cirugía robótica puede facilitar este modelo al favorecer una ejecución más consistente y una potencial menor agresión sobre las partes blandas, aunque la recuperación continúa dependiendo de múltiples variables clínicas y organizativas [7,8].



La recuperación postoperatoria en COT debe integrar además rehabilitación precoz, valoración funcional, prevención tromboembólica y seguimiento estructurado de los objetivos funcionales. La relación entre precisión biomecánica intraoperatoria y recuperación funcional adquiere particular peso, ya que pequeñas desviaciones en alineación, balance o posicionamiento protésico pueden influir sobre dolor, estabilidad articular, desgaste y recuperación a medio plazo.

Desde una perspectiva asistencial, el verdadero interés de la cirugía robótica no reside únicamente en mejorar determinados gestos técnicos intraoperatorios, sino en facilitar modelos de recuperación más estructurados, reproducibles y orientados a resultados clínicos y funcionales. La integración entre técnica quirúrgica, validación biomecánica, protocolos ERAS y seguimiento funcional constituye uno de los principales elementos diferenciales de los programas robóticos maduros.

Por último, debe tenerse en cuenta de forma prioritaria el papel de la enfermería especializada y de las unidades de fisioterapia en la recuperación funcional del paciente más allá del ingreso hospitalario. En este ámbito de la continuidad asistencial post-alta, la cirugía ortopédica ha sido históricamente pionera, pero resulta imprescindible replicar este modelo en la cirugía urológica robótica compleja. En concreto, la recuperación de la continencia urinaria en los pacientes sometidos a prostatectomía radical ha demostrado una aceleración significativa y una mayor tasa de éxito en aquellos individuos integrados en programas de rehabilitación estructurada y entrenamiento guiado de la musculatura del suelo pélvico (PFMT) (EAU Guidelines; Centemero et al.). Este abordaje multidisciplinar post-alta es igualmente extensible y crítico para el correcto aprendizaje miccional y control voluntario en los pacientes sometidos a reconstrucciones ortotópicas de neovejiga ileal tras una cistectomía radical.

La protocolización de este seguimiento extrahospitalario, coordinado entre enfermería de urología y terapeutas especializados, es la que verdaderamente permite que la precisión técnica lograda por la plataforma robótica en el quirófano se traduzca en un beneficio funcional definitivo, una reincorporación socio-laboral precoz y una optimización real de los recursos del SNS.

Referencias bibliográficas

- **1.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg.* 2004;239(1):14-21. doi:10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d
- **2.** Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2018;13(1):e0191628. doi:10.1371/journal.pone.0191628.
- **3.** Kehlet H, Wilmore DW. Evidence-based surgical care and the evolution of fast-track surgery. *Ann Surg.* 2008 Aug;248(2):189-98. doi:10.1097/SLA.0b013e-31817f2c1a.
- **4.** Ljungqvist O, Scott M, Fearon KC. Enhanced Recovery After Surgery: A Review. *JAMA Surg.* 2017 Mar 1;152(3):292-298. doi: 10.1001/jamasurg.2016.4952.
- **5.** Ahmed K, Khan R, Mottrie A, Lovegrove C, Abaza R, Ahlawat R, Ahlering T, Ahlgren G, et al. Development of a standardised training curriculum for robotic surgery: a consensus statement from an international multidisciplinary group of experts. *BJU Int.* 2015 ;116(1):93-101. doi: 10.1111/bju.12974.
- **6.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdom A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Nov 21;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.
- **7.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
- **8.** Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi: 10.1016/j.arth.2020.03.005.

Referencias complementarias

- The Impact of ERAS Protocols on Postoperative Outcomes in Robotic, Laparoscopic, and Open Colorectal Surgery: A Multicenter Retrospective Study. *American Journal of Surgery.* 2025. Mohandes B, Abukar SH, Ponholzer F, et al.
- A Combination of Enhanced Recovery After Surgery and Prehabilitation Pathways Improves Perioperative Outcomes and Costs for Robotic Radical Prostatectomy. *Cancer.* 2020. Ploussard G, Almeras C, Beauval JB, et al.
- Can Robotic-Assisted Surgery Support Enhanced Recovery Programs?. *Best Practice & Research. Clinical Obstetrics & Gynaecology.* 2023. Lönnerfors C, Persson J.
- Analysis of Outcomes for Robotic-Assisted Lobectomy With an Enhanced Recovery After Surgery Protocol. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2023. Merritt RE, D'Souza DM, Abdel-Rasoul M, et al.
- Clinical Efficacy of Enhanced Recovery Surgery in Da Vinci Robot-Assisted Pancreatoduodenectomy. *Scientific Reports.* 2024. Liu Z, Chen H, Li Z, et al.
- Surgical and Medical Outcomes in Robotic Compared to Laparoscopic Colectomy Global Prospective Cohort From the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program. *Surgical Endoscopy.* 2024. de Almeida Leite RM, Araujo SEA, de Souza AV, et al.

4.5. SEGUIMIENTO CLÍNICO, EXPERIENCIA DEL PACIENTE Y CONTROL DEL PROCESO

El seguimiento clínico constituye una parte esencial del proceso asistencial en cirugía robótica y representa uno de los ámbitos donde la integración entre tecnología, organización y evaluación de resultados adquiere mayor relevancia. La cirugía robótica no debe valorarse únicamente por el éxito técnico intraoperatorio, sino por su capacidad para generar resultados clínicos, funcionales y organizativos medibles y sostenibles a medio y largo plazo.

La evaluación de resultados en cirugía robótica debe incluir no solo variables clásicas, como complicaciones, estancia hospitalaria, conversiones o reintervenciones, sino también parámetros funcionales, experiencia del paciente, recuperación precoz y calidad de vida. Este enfoque resulta particularmente importante en procedimientos donde el objetivo no es únicamente resolver una enfermedad, sino preservar la función, la autonomía y la capacidad de reincorporación a la actividad habitual [1,2].

En cirugía digestiva, torácica, urológica y ginecológica, el seguimiento debe integrar resultados oncológicos, funcionales y perioperatorios. En cirugía rectal, la preservación funcional, la recuperación intestinal y la calidad de vida forman parte de la evaluación global del procedimiento. En urología, continencia urinaria y función sexual constituyen variables especialmente relevantes tras la prostatectomía radical. En cirugía torácica, recuperación respiratoria y reincorporación funcional precoz tienen un peso importante en la percepción del beneficio clínico.

La experiencia del paciente ha adquirido progresivamente mayor importancia dentro de la evaluación de la calidad asistencial. Los PROs (Patient-Reported Outcomes) y los PREMs (Patient-Reported Experience Measures) permiten incorporar la perspectiva del paciente al proceso evaluador, aunque miden dimensiones distintas: los PROs recogen resultados percibidos por el paciente (dolor, función, calidad de vida, satisfacción con el resultado), mientras que los PREMs evalúan la experiencia del proceso asistencial (información recibida, trato, coordinación entre profesionales, accesibilidad). Esta distinción es relevante porque am-

bos tipos de indicadores ofrecen información complementaria sobre la calidad del programa robótico. La dimensión de experiencia del paciente cobra particular peso en cirugía robótica, donde parte del valor potencial de la tecnología se relaciona con la reducción de la agresión quirúrgica, la recuperación precoz y la mejora de la experiencia perioperatoria.

No obstante, la interpretación de estos resultados debe realizarse con prudencia. La percepción del paciente puede estar influida por expectativas tecnológicas, información previa, experiencia hospitalaria y factores no estrictamente quirúrgicos. La evaluación de los programas robóticos debe apoyarse en modelos estructurados de seguimiento clínico y funcional, utilizando indicadores homogéneos y comparables entre centros.

“La cirugía robótica no debe valorarse únicamente por el éxito técnico intraoperatorio, sino por su capacidad para generar resultados clínicos, funcionales y organizativos medibles y sostenibles a medio y largo plazo”

Es crucial la utilización de escalas de recuperación validadas, que permitan una adecuada comparación de resultados entre diferentes abordajes quirúrgicos, diferentes centros e incluso diferentes profesionales dentro de un centro. El análisis continuo de los resultados obtenidos es la mayor garantía para los pacientes.

La evidencia actual muestra que la cirugía robótica ofrece resultados clínicos globalmente comparables a los de los abordajes convencionales, con beneficios claros frente a la cirugía abierta derivados principalmente

del acceso mínimamente invasivo, pero sin una superioridad consistente respecto a la laparoscopia en la mayoría de los procedimientos. Los estudios demuestran mortalidad y morbilidad grave similares, aunque algunos procedimientos específicos —como la prostatectomía radical— presentan mejores resultados funcionales urinarios y sexuales y menores tasas de recidiva bioquímica. Frente a la cirugía abierta, la robótica reduce eventos adversos y recuperación prolongada, mientras que comparada con la laparoscopia las diferencias suelen ser pequeñas o no significativas.

Uno de los hallazgos más consistentes es el aumento de los tiempos quirúrgicos y los costes asociados a la cirugía robótica. Más de la mitad de los ensayos aleatorizados muestran intervenciones más largas, y la mayoría de los estudios describen mayores costes directos sin una demostración clara de superioridad clínica global.

La evidencia sobre resultados comunicados por los pacientes (“patient-reported outcomes”, PRO) sigue siendo limitada e inconsistente. Aproximadamente la mitad de los ensayos incluyen medidas de calidad de vida, y la mayoría no encuentra diferencias relevantes entre cirugía robótica y laparoscopia. En prostatectomía radical, algunos estudios describen menos dolor y mayor satisfacción postoperatoria precoz con la robótica, aunque sin diferencias significativas en calidad de vida a largo plazo. En cáncer de endometrio y oncología ginecológica se han observado mejoras en satisfacción, función sexual y recuperación funcional, pero los resultados continúan siendo heterogéneos.

La aplicación de metodologías formales de control de calidad y mejora continua en cirugía robótica sigue siendo limitada. Aunque distintas organizaciones científicas recomiendan sistemas estructurados de mejora continua basados en métricas objetivas y análisis ajustados al riesgo, pocos programas aplican de forma sistemática herramientas de control estadístico de procesos. Algunos estudios han utilizado análisis CUSUM y RA-CUSUM para monitorizar curvas de aprendizaje, complicaciones y rendimiento individual, demostrando utilidad para identificar variabilidad entre cirujanos y áreas de mejora. Sin embargo, estas estrategias todavía no forman parte de la práctica habitual.

Persisten además varias limitaciones importantes: escasa estandarización de procedimientos, seguimiento limitado a largo plazo y medición inconsistente de resultados centrados en el paciente. En conjunto, la evidencia actual respalda que la cirugía robótica es segura y técnicamente viable, pero subraya la necesidad de incorporar sistemas más robustos de evaluación de calidad, monitorización continua y resultados centrados en el paciente para demostrar plenamente su valor clínico diferencial.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, el seguimiento funcional adquiere una relevancia particularmente importante. En muchos procedimientos ortopédicos, el objetivo principal no es únicamente la corrección anatómica, sino la recuperación de movilidad, estabilidad, autonomía y calidad de vida. La relación entre precisión técnica intraoperatoria y resultado funcional posterior es particularmente estrecha, lo que convierte la evaluación funcional en un componente esencial del control del proceso asistencial.

En artroplastia robótica, el seguimiento debe integrar dolor, rango de movilidad, estabilidad articular, recuperación funcional, capacidad de deambulación y satisfacción del paciente, además de parámetros radiológicos y supervivencia protésica. La posibilidad de correlacionar alineación, balance ligamentoso o posicionamiento de los componentes con los resultados funcionales representa una de las aportaciones más relevantes de la cirugía basada en datos aplicada a COT [3–5].

La cirugía robótica en COT facilita además la trazabilidad de múltiples parámetros intraoperatorios, incluyendo alineación, trayectorias, balance dinámico o posición de los implantes. Esta capacidad permite desarrollar modelos de evaluación más precisos y potencialmente más reproducibles, relacionando ejecución técnica y evolución clínica de forma más objetiva. La robótica no solo modifica cómo se realiza la cirugía, sino también cómo se mide y se analiza posteriormente su resultado.

En cirugía de columna y en determinados procedimientos de trauma, el seguimiento debe incluir no solo consolidación y precisión radiológica, sino también dolor, recuperación funcional, estabilidad y necesidad de reintervención. La integración de navegación y registro



intraoperatorio puede facilitar una evaluación más detallada de la relación entre precisión técnica y resultado clínico.

El control del proceso asistencial constituye otro de los elementos diferenciales de los programas robóticos maduros. La posibilidad de registrar tiempos quirúrgicos, incidencias, conversiones, complicaciones, resultados funcionales y experiencia del paciente favorece modelos de mejora continua y benchmarking entre equipos y centros. Esta dimensión resulta particularmente útil en sistemas sanitarios complejos, donde sostenibilidad y evaluación de resultados forman parte de la gobernanza clínica.

La reducción de la variabilidad constituye uno de los objetivos centrales de este enfoque. La cirugía robótica puede contribuir a disminuir la dispersión técnica y organizativa, pero únicamente cuando se integra dentro de programas estructurados con protocolos definidos, seguimiento continuo y análisis crítico de los resultados. La tecnología por sí sola no garantiza la

calidad asistencial, y su valor depende en gran medida de la capacidad del sistema para medir, comparar y corregir los resultados de forma sistemática.

Desde una perspectiva organizativa, la integración de datos clínicos, funcionales y técnicos permite avanzar hacia modelos quirúrgicos más evaluables y orientados a valor. La interoperabilidad entre plataformas, registros clínicos y sistemas de información será probablemente uno de los principales retos futuros para consolidar programas robóticos basados en resultados reales y no únicamente en indicadores tecnológicos.

En la práctica clínica, el verdadero interés de la cirugía robótica no reside solo en realizar procedimientos técnicamente complejos, sino en desarrollar procesos asistenciales más medibles, reproducibles y centrados en el paciente. En COT, esta dimensión adquiere particular relevancia porque la relación entre precisión biomecánica, recuperación funcional y experiencia del paciente constituye uno de los principales determinantes del valor clínico a largo plazo.



Referencias bibliográficas

- **1.** Porter ME. What is value in health care? *N Engl J Med.* 2010;23;363(26):2477-81. doi: 10.1056/NE-JMp1011024
- **2.** Kehlet H, Wilmore DW. Evidence-based surgical care and the evolution of fast-track surgery. *Ann Surg.* 2008 Aug;248(2):189-98. doi:10.1097/SLA.0b013e-31817f2c1a.
- **3.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdom A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Nov 21;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.
- **4.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.

- **5.** Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi: 10.1016/j.arth.2020.03.005.

Referencias complementarias

- Robotic Surgery: Disruptive Innovation or Unfulfilled Promise? A Systematic Review and Meta-Analysis of the First 30 years. *Surgical Endoscopy.* 2016. Tan A, Ashrafian H, Scott AJ, et al.SR
- Robot-Assisted Surgery in Thoracic and Visceral Indications: An Updated Systematic Review. *Surgical Endoscopy.* 2024. Grössmann-Waniek N, Riegelneegg M, Gassner L, Wild C.
- Systematic Review of the Application of Quality Improvement Methodologies From the Manufacturing Industry to Surgical Healthcare. *The British Journal of Surgery.* 2012. Nicolay CR, Purkayastha S, Greenhalgh A, et al.

Implicaciones prácticas

El proceso asistencial en cirugía robótica conserva las fases clásicas del recorrido quirúrgico, pero modifica de forma significativa cómo se planifican, coordinan, ejecutan y evalúan. El verdadero valor de la robótica no reside en una fase aislada del proceso, sino en la integración coordinada de las cinco fases analizadas en este capítulo: selección, planificación, organización quirúrgico-anestésica, ejecución y recuperación, y seguimiento. La tecnología actúa como elemento integrador, pero su rendimiento depende de la madurez asistencial del centro y de la coordinación efectiva entre equipos.

Una de las consecuencias más relevantes de este modelo es el desplazamiento del valor hacia las fases pre y postoperatorias. La planificación avanzada basada en imagen, la coordinación multidisciplinar, los protocolos de recuperación intensificada y el seguimiento estructurado adquieren un peso creciente dentro del resultado final. Este cambio modifica la lógi-

ca organizativa del bloque quirúrgico y exige un grado de madurez asistencial que no siempre acompaña a la incorporación de la tecnología. La cirugía robótica, entendida como proceso, requiere más organización, más coordinación y más medición que la cirugía convencional.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, esta integración entre fases es particularmente estrecha. La cadena que conecta planificación biomecánica, ejecución guiada, recuperación funcional y resultado a medio plazo está más interconectada que en otras especialidades, lo que convierte al proceso asistencial robótico en un modelo especialmente exigente desde el punto de vista organizativo, pero también particularmente medible y evaluable. En este sentido, la incorporación de la cirugía robótica al SNS no debe valorarse únicamente por las capacidades de la plataforma, sino por la capacidad del sistema para construir alrededor de ella procesos asistenciales reproducibles, trazables y orientados a resultados clínicos relevantes para el paciente.

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

V. Impacto en resultados clínicos: qué mejora y en qué contexto

- 5.1** Impacto en resultados clínicos en Cirugía General y Digestiva
- 5.2** Impacto en resultados clínicos en Urología
- 5.3** Impacto en resultados clínicos en Cirugía Torácica
- 5.4** Impacto en resultados clínicos en Ginecología
- 5.5** Impacto en resultados clínicos en Cirugía Ortopédica y Traumatología



Impacto en
resultados clínicos:
qué mejora y en
qué contexto

V.

Impacto en resultados clínicos: qué mejora y en qué contexto



La evaluación del impacto clínico de la cirugía robótica constituye uno de los aspectos más relevantes para determinar su papel dentro del Sistema Nacional de Salud. Más allá de la innovación tecnológica o de la sofisticación de las plataformas disponibles, el verdadero valor de cualquier tecnología sanitaria depende de su capacidad para mejorar los resultados clínicos relevantes para los pacientes y para el sistema asistencial.

Durante las dos últimas décadas, la cirugía robótica ha experimentado una expansión progresiva en múltiples especialidades quirúrgicas. Sin embargo, la magnitud de su beneficio clínico continúa siendo objeto de debate en algunos ámbitos. Mientras determinados procedimientos muestran ventajas relativamente consistentes en las variables perioperatorias, la recuperación funcional o la precisión técnica, otros presentan resultados más heterogéneos o diferencias clínicas de menor magnitud respecto a las alternativas convencionales [1,2].

La interpretación de esta evidencia resulta compleja por varios motivos. En primer lugar, la cirugía robótica engloba tecnologías diferentes que responden a objetivos clínicos distintos. Las plataformas de cirugía mínimamente invasiva utilizadas en cirugía digestiva, urología, ginecología o cirugía torácica persiguen fundamentalmente mejorar la visualización, la precisión de la disección y la capacidad reconstructiva en entornos anatómicos complejos. Por el contrario, en Cirugía Ortopédica y Traumatología, los sistemas robóticos se orientan principalmente hacia la planificación tridimensional, la navegación, la precisión y la optimización biomecánica del procedimiento. Como consecuencia, los resultados clínicos esperables y las variables de evaluación no son necesariamente comparables entre especialidades.

En segundo lugar, la evidencia disponible presenta una considerable heterogeneidad metodológica. Los ensayos clínicos aleatorizados siguen siendo relativamente escasos en muchas áreas de la cirugía robótica, mientras que gran parte de la literatura procede de estudios observacionales, registros clínicos y análisis retrospectivos. Además, los resultados pueden verse condicionados por factores como la experiencia del cirujano, el volumen del centro, la curva de aprendizaje, la selección de los pacientes o la evolución continua de las plataformas tecnológicas [3,4].

Por este motivo, la evaluación del impacto clínico de la cirugía robótica debe ir más allá de comparaciones simplificadas entre tecnologías. Resulta necesario analizar en qué procedimientos, en qué perfiles de pacientes y bajo qué condiciones organizativas pueden obtenerse beneficios clínicos relevantes. Del mismo modo, es importante distinguir entre mejoras estadísticamente significativas y mejoras clínicamente relevantes, especialmente cuando se pretende orientar las decisiones sanitarias y las estrategias de implantación en el Sistema Nacional de Salud.

En cirugía digestiva, urológica, ginecológica y torácica, los principales beneficios descritos se relacionan con la reducción de la pérdida sanguínea, una menor estancia hospitalaria, la recuperación funcional más rápida y la posibilidad de mantener los abordajes mínimamente invasivos en escenarios complejos. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la evidencia se ha centrado principalmente en la precisión de la alineación, el posicionamiento de implantes, la reproducibilidad

técnica, los resultados funcionales asociados a procedimientos como la artroplastia o la cirugía de columna y la disminución de las tasas de recirugía [5-7].

La creciente disponibilidad de registros clínicos, datos de práctica real y sistemas de monitorización digital está permitiendo además una evaluación más amplia del impacto de la cirugía robótica. Este enfoque facilita analizar no solo resultados clínicos inmediatos, sino también la recuperación funcional, la experiencia del paciente, la supervivencia de los implantes, las complicaciones tardías y la utilización de los recursos sanitarios.

Este capítulo revisa de forma crítica la evidencia disponible sobre los resultados clínicos en cirugía robótica, analizando qué beneficios han demostrado mayor consistencia, cuáles continúan siendo objeto de controversia y en qué contextos clínicos pueden generar un mayor valor para los pacientes y para el Sistema Nacional de Salud.

Referencias bibliográficas

- **1.** Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191628. doi: 10.1371/journal.pone.0191628.
- **2.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg*. 2004;239(1):14-21. doi: 10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d.
- **3.** Coughlin GD, Yaxley JW, Chambers SK, Occhipinti S, Samarasinghe H, Zajdlewicz L, Teloken P, Dungli-son N, Williams S, Lavin MF, Gardiner RA. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retro-pubic prostatectomy: 24-month outcomes from a randomised controlled study. *Lancet Oncol*. 2018;19(8):1051-1060. doi: 10.1016/S1470-2045(18)30357-7.
- **4.** Novara G, Ficarra V, Rosen RC, Artibani W, Costello A, Eastham JA, Graefen M, Guazzoni G, Shariat SF, Stolzenburg JU, Van Poppel H, Zattoni F, Montorsi F, Mottrie A, Wilson TG. Systematic review and meta-analy-

- sis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol*. 2012;62(3):431-52. doi: 10.1016/j.eururo.2012.05.044.
- **5.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdoum A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(22):1984-1992. doi: 10.2106/JBJS.17.01397.
- **6.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J*. 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
- **7.** Ruangsombun P, Ruangsombun O, Pornrattanamaneewong C, Narkbunnam R, Chareancholvanich K. Clinical and radiological outcomes of robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Acta Orthop*. 2023;94:60-79. doi: 10.2340/17453674.2023.9411.

5.1. IMPACTO EN RESULTADOS CLÍNICOS EN CIRUGÍA GENERAL Y DIGESTIVA

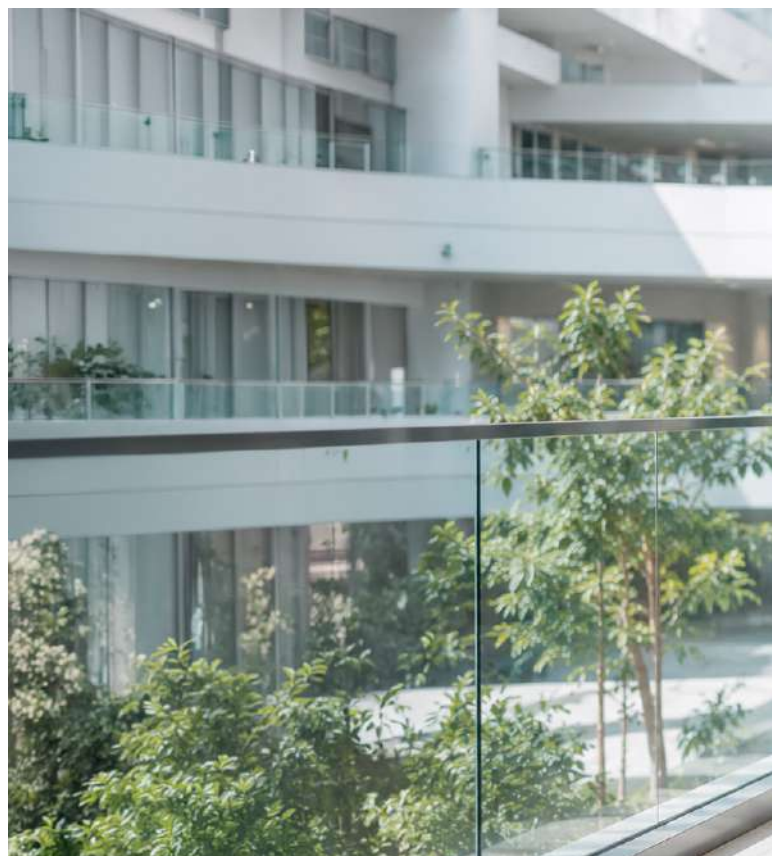
5.1.1. Cirugía endocrina

la evidencia disponible sobre cirugía endocrina robótica presenta importantes limitaciones metodológicas, elevada heterogeneidad e inconsistencias entre estudios. La mayoría de los datos proceden de estudios observacionales retrospectivos y no de ensayos controlados aleatorizados (ECA). En tiroidectomía robótica, un metaanálisis de 59 estudios incluyó solo 2 ECA, mientras que el resto correspondía principalmente a cohortes retrospectivas. [1] En paratiroidectomía, la evidencia sigue siendo escasa e insuficiente para establecer conclusiones sólidas sobre su eficacia comparativa. [2] La calidad metodológica global de las revisiones sistemáticas y metaanálisis es baja: el 95,1 % fueron clasificados como de calidad críticamente baja según AMSTAR-2. [3] Las principales deficiencias se relacionaron con la falta de registro previo y la ausencia de información sobre financiación de los estudios incluidos. [3] La comparabilidad entre estudios se ve limitada por la gran variabilidad de abordajes quirúrgicos, especialmente en cirugía tiroidea, donde coexisten técnicas transaxilares, axilo-mamarias, retroauriculares y transorales, entre otras. [4-5] Además, existe un marcado sesgo de selección, ya que los procedimientos robóticos suelen realizarse en pacientes con anatomía favorable, menor IMC y tumores más pequeños. [4][6] En adrenalectomía, las diferencias según la vía de abordaje (retroperitoneal o transabdominal) también condicionan los resultados operatorios. [7] Los efectos de la curva de aprendizaje rara vez se controlan adecuadamente; en tiroidectomía robótica, esta parece estabilizarse tras aproximadamente 37 casos. [8] También existe un sesgo geográfico importante, dado que gran parte de la experiencia procede de Corea del Sur y otros países asiáticos, donde las preferencias estéticas han impulsado la adopción de estos abordajes. [1][5]

En cirugía tiroidea, la cirugía robótica se asocia de forma consistente con tiempos quirúrgicos más prolongados y menor número de ganglios linfáticos extirpados, aunque las tasas de complicaciones son comparables a la cirugía abierta. [1][9] En adrenalectomía, los resultados son más homogéneos y

muestran menor pérdida sanguínea, menor estancia hospitalaria y menos conversiones a cirugía abierta frente a la laparoscopia convencional. [6-7] Sin embargo, las diferencias en tiempo operatorio siguen siendo inconsistentes. [6-7] La evidencia disponible se basa casi exclusivamente en un solo sistema, lo que limita la extrapolación a otras plataformas robóticas emergentes. [4-5] Además, aunque el mayor coste de la cirugía robótica se reconoce como una limitación universal, los análisis de coste-efectividad siguen siendo escasos. [4-5]

En conjunto, la literatura actual respalda la viabilidad y seguridad de la cirugía endocrina robótica en centros expertos y pacientes seleccionados, pero no demuestra de forma consistente una superioridad clínica frente a los abordajes convencionales, salvo en resultados específicos como la satisfacción estética en cirugía tiroidea o la menor pérdida sanguínea en adrenalectomía. [2][4-5] Estas limitaciones obligan a interpretar la evidencia con cautela y subrayan la necesidad de estudios prospectivos, multicéntricos y metodológicamente robustos.



Referencias cirugía endocrina

- **1.** Robotic Surgery Versus Open Surgery for Thyroid Neoplasms: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*. 2020. Liu H, Wang Y, Wu C, Fei W, Luo E.
- **2.** Revisiting Robotic Approaches to Endocrine Neoplasia: Do the Data Support Their Continued Use?. *Current Opinion in Oncology*. 2016. Liu SY, Lang BH.
- **3.** The Methodological Quality of Robotic Surgical Meta-Analyses Needed to Be Improved: A Cross-Sectional Study. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2019. Yan P, Yao L, Li H, et al.
- **4.** Robot-Assisted Endocrine Surgery: Indications and Drawbacks. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*. 2019. Ruhle BC, Ferguson Bryan A, Grogan RH.
- **5.** Robotic Endocrine Surgery: State of the Art. *World Journal of Surgery*. 2013. Taskin HE, Arslan NC, Aliyev S, Berber E.
- **6.** Innovation in Endocrine Surgery: Robotic Versus Laparoscopic Adrenalectomy. Meta-Analysis and Systematic Literature Review. *Oncotarget*. 2017. Agrusa A, Romano G, Navarra G, et al.
- **7.** Comparison of the Effectiveness and Safety of Robotic-Assisted and Laparoscopic in Adrenalectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Surgery*. 2022. Gan L, Peng L, Li J, et al.
- **8.** Optimizing Robotic Thyroid Surgery: Lessons Learned From an Retrospective Analysis of 104 Cases. *Frontiers in Endocrinology*. 2023. Wang B, Yu JF, Ao W, et al.
- **9.** A Meta-Analysis of Unilateral Axillary Approach for Robotic Surgery Compared With Open Surgery for Differentiated Thyroid Carcinoma. *PloS One*. 2023. Zhang X, Yu J, Zhu J, et al.
- **10.** Robot-Assisted Versus Conventional Laparoscopic Adrenalectomy: Results From the EUROCRINE Surgical Registry. *Surgery*. 2022. Vatansever S, Nordensström E, Raffaelli M, Brunaud L, Makay Ö.



5.1.2. Cirugía esofágica

la evidencia sobre cirugía esofágica robótica continúa limitada por la predominancia de estudios retrospectivos y observacionales. En esofagectomía por enfermedad maligna, una revisión sistemática de 113 estudios (14 701 pacientes) mostró que el 79 % eran retrospectivos y con tamaños muestrales reducidos (mediana: 54 pacientes). [1] Los ECA disponibles son escasos. El ensayo ROBOT (RAMIE vs. esofagectomía abierta, $n = 112$) demostró menos complicaciones cardiopulmonares, menor dolor y mejor calidad de vida con RAMIE. [2] Por su parte, el ensayo RAMIE frente a esofagectomía mínimamente invasiva convencional (MIE) mostró una disección ganglionar más extensa a lo largo del nervio laríngeo recurrente y menor tiempo operatorio con RAMIE. [3] El estudio ROBOT-2 continúa en marcha. [4]

En enfermedad benigna, la evidencia es aún más limitada. En acalasia, un metaanálisis de 14 estudios observacionales encontró menor riesgo de perforación esofágica con miotomía robótica de Heller, aunque los autores destacaron importantes limitaciones derivadas del sesgo de selección, la experiencia quirúrgica y la variabilidad técnica. [6] En cirugía antirreflujo, los ECA disponibles no demostraron ventajas clínicas relevantes del abordaje robótico, salvo un aumento de costes. [7] En hernia paraesofágica, los perfiles de seguridad parecen comparables, aunque la calidad de la evidencia sigue siendo baja-moderada. [8]

“El hallazgo más sólido y consistente de la cirugía esofágica robótica es la reducción de las complicaciones pulmonares”

La heterogeneidad metodológica representa una limitación central de esta literatura. Los estudios combinan distintas técnicas quirúrgicas (Ivor Lewis, McKeown, transhiatal) y diferentes grados de utilización robótica (fase torácica, abdominal o ambas), dificultan-

do la comparación directa. [1] Además, los metaanálisis muestran heterogeneidad estadística extrema para variables como tiempo operatorio y pérdida sanguínea (I^2 hasta 95 %). [10] También existe una importante heterogeneidad poblacional, con predominio de carcinoma epidermoide y variabilidad significativa en el uso de terapia neoadyuvante. [11]

Diversos sesgos afectan la interpretación de los resultados. El sesgo de selección y la ausencia de ajuste completo por factores institucionales o experiencia quirúrgica son frecuentes incluso en estudios con propensity score matching. [12][13] La curva de aprendizaje constituye un factor crítico: las series más amplias sitúan la competencia inicial entre 40–50 casos y la estabilización de resultados de calidad en torno a 80–150 procedimientos. [14–16] Asimismo, el volumen hospitalario influye significativamente en los resultados, con peores desenlaces observados en centros de bajo volumen. [17]

La comparación entre RAMIE y cirugía abierta muestra consistentemente menor morbilidad pulmonar y mejor recuperación funcional con RAMIE. [2][18] Frente a la MIE convencional, el hallazgo más reproducible es también la reducción de complicaciones pulmonares, mientras que las diferencias en fuga anastomótica, lesión del nervio laríngeo recurrente, mortalidad y supervivencia permanecen inconsistentes o no significativas. [3][10][11][19]

En conjunto, el hallazgo más sólido y consistente de la cirugía esofágica robótica es la reducción de las complicaciones pulmonares, replicada en ECA, estudios emparejados y múltiples metaanálisis. [10][11][13][19][23] Otros beneficios potenciales, como mayor rendimiento ganglionar o ventajas oncológicas a largo plazo, siguen siendo inciertos. La evidencia actual respalda un perfil de seguridad favorable para RAMIE, pero continúa limitada por heterogeneidad técnica, sesgos metodológicos, curva de aprendizaje y escasez de estudios aleatorizados, especialmente en enfermedad benigna y en la comparación directa con MIE convencional. [5][12][18]

Las guías NCCN consideran la esofagectomía robótica mínimamente invasiva una alternativa aceptable, aunque estudios en curso como ROBOT-2 serán fundamentales para definir con mayor precisión su valor clínico comparativo. [24][4]

Referencias cirugía esofágica

→ **1.** Is Robotic Surgery the Future for Resectable Esophageal Cancer?: A Systematic Literature Review of Oncological and Clinical Outcomes. *Annals of Surgical Oncology*. 2024. Patel NM, Patel PH, Yeung KTD, et al.

→ **2.** Robot-Assisted Minimally Invasive Thoracoscopic Esophagectomy Versus Open Transthoracic Esophagectomy for Resectable Esophageal Cancer: A Randomized Controlled Trial. *Annals of Surgery*. 2019. van der Sluis PC, van der Horst S, May AM, et al.

→ **3.** Robot-Assisted Versus Conventional Minimally Invasive Esophagectomy for Resectable Esophageal Squamous Cell Carcinoma: Early Results of a Multicenter Randomized Controlled Trial: The RAMIE Trial. *Annals of Surgery*. 2022. Yang Y, Li B, Yi J, et al.

→ **4.** Oesophageal Cancer. *Lancet*. 2024. Yang H, Wang F, Hallemeier CL, Lerut T, Fu J.

→ **5.** Comparing Outcomes Following Open, Hybrid, Minimally Invasive, and Robotic-Assisted Esophagectomy: A Systematic Review. *European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*. 2025. Dunne N, Davey MG, Donlon NE.

→ **6.** Robotic Versus Laparoscopic Heller Myotomy for Esophageal Achalasia: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Langenbeck's Archives of Surgery*. 2025. Aiolfi A, Damiani R, Manara M, et al.

→ **7.** Robot-Assisted Oesophageal and Gastric Surgery for Benign Disease: Antireflux Operations and Heller's Myotomy. *ANZ Journal of Surgery*. 2015. Falkenback D, Lehane CW, Lord RV.

→ **8.** Robotics vs Laparoscopy in Foregut Surgery: Systematic Review and Meta-Analysis Analyzing Hiatal Hernia Repair and Heller Myotomy. *Journal of the American College of Surgeons*. 2024. Awshah S, Mhaskar R, Diab AF, et al.

→ **9.** Comparison of Clinical Outcomes of Robot-Assisted, Video-Assisted, and Open Esophagectomy for Esophageal Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Network Open*. 2021. Mederos MA, de Virgilio MJ, Shenoy R, et al.

→ **10.** Early Outcomes With Robot-Assisted vs. Minimally Invasive Esophagectomy for Esophageal Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Matched Studies. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 2021. Huang Y, Zhao YL, Song JD.

→ **11.** Robotic Versus Conventional Minimally Invasive Esophagectomy for Esophageal Cancer: A Meta-Analysis. *Annals of Surgery*. 2023. Zhang Y, Dong D, Cao Y, et al.

→ **12.** Robot-Assisted Versus Thoracoscopic Esophagectomy for Esophageal Cancer: Long-Term Oncological and Functional Outcomes.

Surgical Endoscopy. 2026. Ishiyama K, Nozaki R, Kakuta R, et al.

→ **13.** Lower Incidence of Postoperative Pulmonary Complications Following Robot-Assisted Minimally Invasive Esophagectomy for Esophageal Cancer: Propensity Score-Matched Comparison to Conventional Minimally Invasive Esophagectomy. *Annals of Surgical Oncology*. 2021. Tsunoda S, Obama K, Hisamori S, et al.

→ **14.** Learning Curves in Minimally Invasive Esophagectomy: A Systematic Review and Evaluation of Benchmarking Parameters. *Surgery*. 2022. Prasad P, Wallace L, Navidi M, Phillips AW.

→ **15.** Assessment of Quality Outcomes and Learning Curve for Robot-Assisted Minimally Invasive McKeown Esophagectomy. *Annals of Surgical Oncology*. 2021. Yang Y, Li B, Hua R, et al.

→ **16.** Surgical Outcomes of 500 Robot-Assisted Minimally Invasive Esophagectomies for Esophageal Carcinoma. *Journal of Thoracic Disease*. 2023. Jeon YH, Yun JK, Jeong YH, et al.

→ **17.** Outcomes of Robotic Esophagectomies for Esophageal Cancer by Hospital Volume: An Analysis of the National Cancer Database. *Surgical Endoscopy*. 2021. Hue JJ, Bachman KC, Worrell SG, et al.

→ **18.** Approaches for Esophagectomy for Esophageal Cancer: A Network Meta-Analysis. *European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*. 2025. Rebelo A, Wadewitz E, Sunami Y, et al.

→ **19.** Minimally Invasive Ivor Lewis Esophagectomy: Robot-Assisted Versus laparoscopic-Thoracoscopic Technique. *Systematic Review And meta-Analysis. Surgery*. 2021. Angeramo CA, Bras Harriott C, Casas MA, Schlottmann F.

→ **20.** A Comparative Study of Robotic and Laparoscopic Approaches to Heller Myotomy. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2022. Raja S, Adhikari S, Blackstone EH, et al.

→ **21.** Perioperative Outcomes of Robotic Versus Laparoscopic Paraesophageal Hernia Repair: A NSQIP Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2024. Powell C, DeGregorio A, Bews K, Wigle D, Habermann E.

→ **22.** Favorable Peri-Operative Outcomes Observed in Paraesophageal Hernia Repair With Robotic Approach. *Surgical Endoscopy*. 2021. Gerull WD, Cho D, Arefanian S, Kushner BS, Awad MM.

→ **23.** Robotic-Assisted Minimally Invasive, Open, and Conventional Minimally Invasive Esophagectomy for Esophageal Carcinoma - A Comprehensive Quantitative Analysis of Perioperative Outcomes and Long-Term Survival. *International Journal of Surgery*. 2025. Yang J, Fang P, Liu X, et al.

→ **24.** Esophageal and Esophagogastric Junction Cancers. *National Comprehensive Cancer Network*. Updated 2026-01-21.

5.1.3. Cirugía gástrica

la evidencia sobre plataformas robóticas en cirugía gástrica es amplia, especialmente en cáncer gástrico, aunque sigue limitada por heterogeneidad metodológica, sesgos de selección, concentración geográfica y comparabilidad inconsistente entre estudios. La mayoría de la literatura procede de cohortes retrospectivas o estudios con propensity score matching (PSM), mientras que la evidencia aleatorizada continúa siendo relativamente escasa.[1][3] El mayor metaanálisis disponible incluyó 72 estudios y 30 081 pacientes comparando gastrectomía robótica (RG) y laparoscópica (LG).[1] Un metaanálisis en red de 17 ECA (5909 pacientes) comparó cirugía abierta, laparoscópica y robótica.[2] Sin embargo, un análisis restringido a ECA asiáticos identificó únicamente 6 estudios y 1055 pacientes.[4]

Entre los ECA más relevantes destacan un estudio fase II chino ($n = 300$), que mostró menor morbilidad, mayor rendimiento ganglionar y mejor supervivencia libre de enfermedad a 3 años con gastrectomía robótica,[5][6] y un ECA japonés multicéntrico ($n = 241$), que observó menos complicaciones Clavien-Dindo $\geq$ II y ausencia de fístula pancreática en el grupo robótico.[7]

Los hallazgos más consistentes entre estudios incluyen menor pérdida sanguínea intraoperatoria (-20 a -37 ml), mayor número de ganglios linfáticos resecados y menores tasas de complicaciones graves con cirugía robótica.[1][8-10] Asimismo, la RG se asocia sistemáticamente a tiempos operatorios más prolongados y mayores costes.[1][9][10][12] Los resultados oncológicos a largo plazo —supervivencia global y libre de enfermedad— suelen ser equivalentes entre RG y LG.[1][8][13][14] Una excepción relevante es el ensayo de Lu et al., que mostró una ventaja en supervivencia libre de enfermedad para la cirugía robótica (HR 0,541), hallazgo no reproducido en metaanálisis observacionales posteriores.[5][13]

La heterogeneidad constituye una limitación central de esta literatura. Existe variabilidad clínica derivada de la inclusión de gastrectomías distales, subtotalet y totales, distintos estadios tumorales y diferentes extensiones de linfadenectomía (D1/D2).[1][8] Los análisis de subgrupos sugieren que los beneficios perioperatorios de la cirugía robótica podrían ser más evidentes en gastrectomía total y enfermedad precoz.[1][8] Además, la heterogeneidad estadística es elevada para múltiples variables, incluyendo tiempo operatorio y supervivencia libre de recidiva.[10][13][15] Las cohortes tras tratamiento neoadyuvante continúan escasamente representadas.[16]

Diversos sesgos afectan la interpretación de los resultados. El sesgo de selección sigue siendo importante

incluso en estudios PSM, debido a factores no medidos como experiencia quirúrgica, volumen institucional y criterios de selección de pacientes.[3][10][11][17] Existe además un marcado sesgo geográfico: la mayoría de los datos proceden de Asia Oriental, donde la epidemiología, el cribado y la formación quirúrgica difieren sustancialmente de los entornos occidentales.[18-20] Las series occidentales muestran tasas superiores de morbilidad y mortalidad.[18]

La experiencia del cirujano constituye otro factor crítico. La curva de aprendizaje de la gastrectomía robótica parece más corta que la laparoscópica (≈ 22 vs. 47 casos), aunque esto probablemente refleja experiencia laparoscópica previa significativa entre los cirujanos robóticos.[20-23] Asimismo, la evidencia disponible depende casi exclusivamente de un solo sistema, limitando la extrapolación a nuevas plataformas robóticas emergentes.[24]

La comparabilidad entre estudios también se ve afectada por definiciones inconsistentes de complicaciones, diferencias en los métodos de recuento ganglionar, variabilidad en el uso de terapia neoadyuvante y diversidad en las técnicas reconstructivas.[8][9][11][16][18] Recientemente, algunos estudios han incorporado el concepto de “textbook outcome” como medida compuesta de calidad, observándose tasas más altas con cirugía robótica frente a laparoscópica y abierta en una cohorte occidental.[25]

En enfermedad benigna, la evidencia es limitada y se centra principalmente en GIST gástricos. Un metaanálisis de 4 estudios retrospectivos mostró tiempos operatorios más largos, pero resultados postoperatorios y oncológicos comparables entre cirugía robótica y laparoscópica.[15] La plataforma robótica parece especialmente útil en localizaciones anatómicas complejas, permitiendo resecciones más conservadoras y preservación orgánica.[26-28]

En conjunto, la evidencia actual respalda que la gastrectomía robótica es segura y oncológicamente equivalente a la laparoscópica, con ventajas perioperatorias consistentes en pérdida sanguínea, rendimiento ganglionar y complicaciones graves, a costa de mayor tiempo quirúrgico y mayores costes.[1][8-10][12] No obstante, la interpretación de la literatura sigue limitada por el predominio de estudios retrospectivos, la elevada heterogeneidad, la concentración geográfica en Asia Oriental y el uso casi exclusivo de una única plataforma robótica. Continúan siendo necesarios ECA multicéntricos y de alta calidad —especialmente en poblaciones occidentales y con seguimiento oncológico prolongado— para definir con mayor precisión el papel de la cirugía robótica en cirugía gástrica.



Referencias cirugía gástrica

- **1.** Efficacy and Safety of Robotic vs. Laparoscopic Gastrectomy for Patients With Gastric Cancer: Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Surgery*. 2024. Li Z, Zhou W, Yang W, et al.
- **2.** Systematic Review and Updated Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials Comparing Open, Laparoscopic-Assisted, and Robotic Distal Gastrectomy for Early and Locally Advanced Gastric Cancer. *Surgery*. 2021. Aiolfi A, Lombardo F, Matsushima K, et al.
- **3.** Comparison of Long-Term and Perioperative Outcomes of Robotic Conventional Laparoscopic Gastrectomy for Gastric Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of PSM and Studies. *Frontiers in Oncology*. 2022. Feng Q, Ma H, Qiu J, et al.
- **4.** Robotic Versus Laparoscopic Gastrectomy for Gastric Cancer in Asia: A Meta-Analysis of Short-Term Outcomes From Six Randomized Controlled Trials. *European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*. 2025. Deng Y, He LJ, Li X.
- **5.** Robotic Versus Laparoscopic Distal Gastrectomy for Resectable Gastric Cancer: A Randomized Phase 2 Trial. *Nature Communications*. 2024. Lu J, Xu BB, Zheng HL, et al.
- **6.** Assessment of Robotic Versus Laparoscopic Distal Gastrectomy for Gastric Cancer: A Randomized Controlled Trial. *Annals of Surgery*. 2021. Lu J, Zheng CH, Xu BB, et al.
- **7.** Short-term outcomes of robotic gastrectomy vs laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: A randomized clinical trial. *Journal of Clinical Oncology*. 2023. Ojima T, Hayata K, Kitadani J, et al.
- **8.** Robotic Versus Laparoscopic Total Gastrectomy for Gastric Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Perioperative and Oncologic Outcomes. *International Journal of Surgery*. 2025. Liu Y, Yun H, Zhang W, et al.
- **9.** Laparoscopic Versus Robotic Gastric Cancer Surgery: Short-Term Outcomes-Systematic Review and Meta-Analysis of 25,521 Patients. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*. 2023. Loureiro P, Barbosa JP, Vale JF, Barbosa J.
- **10.** Clinical Efficacy and Safety of Robotic Distal Gastrectomy for Gastric Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2022. Gong S, Li X, Tian H, et al.
- **11.** Comparison of Short- And Long-Term Outcomes of Robotic Versus Laparoscopic Gastrectomy for Locally Advanced Gastric Cancer After Neoadjuvant Therapy: A High-Volume Center Retrospective Study With Propensity Score Matching. *Surgical Endoscopy*. 2025. Liu Q, Meng C, Cao S, et al.
- **12.** Multicenter Prospective Comparative Study of Robotic Versus Laparoscopic Gastrectomy for Gastric Adenocarcinoma. *Annals of Surgery*. 2016. Kim HI, Han SU, Yang HK, et al.
- **13.** Beyond scalpels: A meta-analysis of robotic and laparoscopic gastrectomy in long-term oncological outcomes in gastric cancer. *Journal of Clinical Oncology*. 2024. Silva C, Hespanhol L, Oliveira J, et al.
- **14.** Intraoperative performance and outcomes of robotic and laparoscopic total gastrectomy for gastric cancer: A high-volume center retrospective propensity score matching study. *Cancer Medicine*. 2023. Jia Z, Cao S, Meng C, et al.
- **15.** Gastrointestinal Stromal Tumors of the Stomach: Is There Any Advantage of Robotic Resections? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*. 2024. Schena CA, Luzzi AP, Laterza V, et al.
- **16.** Short-Term Outcomes of Robotic vs. Laparoscopic Surgery for Gastric Cancer After Neoadjuvant Therapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Cancer*. 2025. Tuohuti T, Abulizi K, Li T.
- **17.** Robotic Gastrectomy Versus Laparoscopic Gastrectomy for Gastric Cancer: A Multicenter Cohort Study of 5402 Patients in China. *Annals of Surgery*. 2023. Li ZY, Zhou YB, Li TY, et al.
- **18.** Surgical Considerations and Outcomes of Minimally Invasive Approaches for Gastric Cancer Resection. *Cancer*. 2022. Ong CT, Schwarz JL, Roggin KK.
- **19.** Robotic Surgery for Gastric Cancer in the West: A Systematic Review and Meta-Analyses of Short-and Long-Term Outcomes. *International Journal of Surgery*. 2020. Solaini L, Avanzolini A, Pacilio CA, et al.

- **20.** Surgical Management of Gastric Cancer: A Review. JAMA Surgery. 2022. Li GZ, Doherty GM, Wang J.
- **21.** Comprehensive Learning Curve of Robotic Surgery: Discovery From a Multicenter Prospective Trial of Robotic Gastrectomy. Annals of Surgery. 2021. Kim MS, Kim WJ, Hyung WJ, et al.
- **22.** Establishing the Learning Curve of Laparoscopic and Robotic Distal Gastrectomy: A Systematic Review and Meta-Regression Analysis. Journal of Gastrointestinal Surgery : Official Journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract. 2023. Chan KS, Oo AM.
- **23.** Learning Curve of Laparoscopic and Robotic Total Gastrectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. Surgery Today. 2024. Chan KS, Oo AM.
- **24.** Robotic Gastrectomy for Gastric Cancer: Systematic Review and Future Directions. Gastric Cancer : Official Journal of the International Gastric Cancer Association and the Japanese Gastric Cancer Association. 2023. Shibasaki S, Suda K, Hisamori S, et al.
- **25.** Impact of Surgical Approach on Gastric Cancer Surgery Based on Textbook Outcome: Open, Laparoscopic, and Robotic Surgery-a Retrospective Cohort Study. Surgery. 2026. Garsot Savall E, Clavell A, Videla S, et al.
- **26.** Minimally Invasive Approach to Gastric GISTs: Analysis of a Multicenter Robotic and Laparoscopic Experience With Literature Review. Cancers. 2021. Ceccarelli G, Costa G, De Rosa M, et al.
- **27.** Ultrasound-Guided, Organ-Sparing, Robotic Resection of GastroIntestinal Stromal Tumors of the Stomach. Journal of Gastrointestinal Surgery : Official Journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract. 2025. Guerra F, Matarazzo F, Giuliani G, Di Marino M, Coratti A.
- **28.** Robotic Wedge Resection for Unfavorably Located Gastric Gastrointestinal Stromal Tumors: Perioperative and Long-Term Oncological Outcomes. Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A. 2021. Di Maria Grimaldi S, Marano A, Pellegrino L, et al.



5.1.4. Cirugía pancreática

la evidencia sobre plataformas robóticas en cirugía pancreática está creciendo de forma rápida, pero continúa siendo predominantemente observacional y metodológicamente heterogénea. Las principales limitaciones derivan de la variabilidad en el diseño de los estudios, las poblaciones incluidas, las definiciones de resultados, la experiencia institucional y la fase de la curva de aprendizaje. En conjunto, la literatura sugiere que la cirugía pancreática robótica puede ser segura, viable y oncológicamente equivalente a los abordajes abiertos o laparoscópicos en centros de alto volumen y con cirujanos experimentados, aunque la solidez de la evidencia sigue siendo limitada.[3][4][5][6]

La base empírica incluye solo dos ECA publicados que comparan específicamente la pancreaticoduodenectomía robótica (RPD) con la abierta (OPD): el ensayo EUROPA, unicéntrico y de fase 2b, y un ECA chino.[1][23] A estos se suma el ensayo DIPLOMA, centrado en pancreatectomía distal mínimamente invasiva, que combinó abordajes laparoscópicos y robóticos y confirmó la no inferioridad oncológica frente a la cirugía abierta.[2] El resto de la evidencia procede fundamentalmente de cohortes retrospectivas, estudios con emparejamiento por puntuación de propensión (PSM), bases de datos nacionales y metaanálisis de estudios no aleatorizados.[3][4][5][6] Una revisión narrativa reciente de los ECA disponibles concluyó que la pancreaticoduodenectomía mínimamente invasiva es segura y oncológicamente válida solo cuando se realiza por cirujanos que han superado la curva de aprendizaje en centros de alto volumen.[7]

En pancreaticoduodenectomía, la RPD se asocia de forma relativamente consistente con menor pérdida sanguínea que la OPD, con diferencias medias aproximadas de 110–210 ml, así como con una estancia hospitalaria más corta, habitualmente entre 1 y 4 días.[3][6][8][12] También muestra menores tasas de conversión que la pancreaticoduodenectomía laparoscópica, con odds ratios en torno a 0,30–0,44.[4][5][14] Sin embargo, el tiempo operatorio es sistemáticamente más prolongado que en la cirugía abierta, con incrementos aproximados de 50–90 minutos.[1][3][9] Las tasas de morbilidad global, mortalidad a 90 días, resección R0 y rendimiento ganglionar parecen comparables entre abordajes cuando los procedimientos se realizan en centros expertos.[8][10][11][12]

En pancreatectomía distal, la evidencia es algo más favorable para el abordaje robótico. Un metaanálisis en red de 67 estudios y 18 113 pacientes situó a la pancreatectomía distal robótica como el abordaje mejor clasificado en

la mayoría de los parámetros evaluados, con menor mortalidad a 30 días frente a la laparoscópica, menor tasa de conversión y mayor preservación esplénica.[13] El ensayo DIPLOMA confirmó que la pancreatectomía distal mínimamente invasiva no fue inferior a la abierta en términos de resección R0.[2] En patología benigna o premaligna, la cirugía robótica parece aportar ventajas adicionales, especialmente en preservación del bazo, reducción de fístula pancreática y menor mortalidad a 90 días en algunas series seleccionadas.[15][16]

La heterogeneidad es una limitación transversal. Los estudios combinan patologías benignas, premalignas y malignas —incluyendo PDAC, tumores periampulares, tumores neuroendocrinos e IPMN— con proporciones variables de malignidad, que oscilan desde alrededor del 30 % hasta el 100 %.[6][15] Esta mezcla condiciona de forma importante las tasas de complicaciones, la dificultad técnica y los criterios de valoración oncológicos. Además, las definiciones de fístula pancreática, complicaciones graves y “textbook outcome” no son uniformes entre estudios.[1][19] Mientras el ensayo EUROPA utilizó el Comprehensive Complication Index como criterio principal, la mayoría de los estudios observacionales emplean complicaciones individuales, dificultando la comparación directa.[1]

También existe heterogeneidad técnica relevante. La literatura incluye procedimientos totalmente robóticos, técnicas híbridas con resección robótica y reconstrucción extracorpórea, variaciones en la anastomosis pancreática y distintas generaciones de plataformas robóticas, habitualmente sin análisis diferenciado por sistema.[10][20] A ello se suma una heterogeneidad geográfica y organizativa importante: los resultados proceden de Japón, China, Europa y Estados Unidos, con diferencias sustanciales en duración de ingreso, modelos de financiación, acreditación quirúrgica, volumen hospitalario y estructura de costes.[8][12][21]

El sesgo de selección es probablemente la principal amenaza metodológica. Los pacientes seleccionados para cirugía robótica suelen ser de menor riesgo: más jóvenes, con menor IMC, menor afectación vascular y mayor proporción de lesiones benignas o premalignas.[6][21][22] Incluso los estudios PSM no pueden ajustar por completo factores no medidos como biología tumoral, complejidad anatómica, intención quirúrgica, experiencia del equipo o cultura institucional. En el ensayo EUROPA, por ejemplo, los pacientes con necesidad de resección vascular, pancreatitis crónica o IMC >35 fueron excluidos de la elegibilidad para RPD, lo que limita la extrapolación de sus resultados.[1]

La curva de aprendizaje constituye otro factor crítico. Las series que incluyen la experiencia inicial de los centros

mezclan los resultados propios del aprendizaje con los resultados atribuibles al abordaje quirúrgico. En EUROPA, la RPD se realizó durante una fase temprana de la curva de aprendizaje, con una tasa de conversión del 23 %, lo que probablemente penalizó los resultados del grupo robótico.[1] Los datos multicéntricos internacionales muestran que la morbilidad grave disminuye de forma significativa tras superar la curva de aprendizaje, con reducciones aproximadas del 24,7 % al 12,3 % tras alcanzar la competencia.[23][24] En términos generales, la RPD requiere alrededor de 40–60 casos para competencia y 80–100 para dominio, mientras que la experiencia laparoscópica previa puede acortar la curva entre un 23 % y un 44 %.[30][31]

El volumen institucional también condiciona de forma decisiva los resultados. Los beneficios de la RPD se observan de manera más consistente en centros de alto volumen, habitualmente definidos como aquellos con al menos 20 RPD anuales.[17] En cambio, los resultados procedentes de centros de bajo volumen o fases iniciales de implementación pueden mostrar mayor morbilidad, más conversiones y costes superiores. Esta interacción entre técnica, experiencia y volumen dificulta separar el efecto real de la plataforma robótica del efecto del entorno quirúrgico en el que se utiliza.

La comparabilidad entre estudios se ve limitada además por la diversidad de comparadores. Algunas publicaciones contrastan RPD frente a OPD, otras RPD frente a LPD, y los metaanálisis en red intentan integrar comparaciones indirectas entre abordajes abiertos, laparoscópicos y robóticos.[3][4][5] En la pancreatometomía distal, el ensayo DIPLOMA-2 fue mayoritariamente robótico, lo que dificulta extraer conclusiones específicas sobre el papel diferencial del abordaje laparoscópico dentro de la cirugía mínimamente invasiva.[23] También deben considerarse los efectos temporales: las técnicas abiertas y los cuidados perioperatorios han evolucionado, por lo que las cohortes históricas de OPD pueden no representar los resultados actuales de la cirugía abierta.

Los análisis económicos son especialmente difíciles de interpretar. Las comparaciones de costes dependen del sistema sanitario, el método contable, la inclusión o exclusión del coste de adquisición del robot y la fase de implementación del programa.[18][21][25][26] Algunos modelos de coste-efectividad favorecen la OPD en la mayoría de simulaciones, mientras que estudios de centros expertos sugieren que la RPD puede reducir costes totales al disminuir complicaciones, estancia hospitalaria o reingresos.[21][25][26] La experiencia acumulada parece ser determinante: un estudio holandés mostró que los costes de la RPD disminuyeron aproximadamente un tercio durante la

implementación y llegaron a ser comparables a los de la OPD en la segunda mitad de la curva de aprendizaje.[21]

A pesar de estas limitaciones, algunos hallazgos son relativamente consistentes. La RPD se asocia con menor pérdida sanguínea y menor estancia hospitalaria que la OPD.[3][6][8][12][28] Frente a la LPD, muestra menores tasas de conversión.[4][5][14] Los resultados oncológicos —resección R0, número de ganglios linfáticos, supervivencia libre de enfermedad y supervivencia global— parecen equivalentes en PDAC resecable en centros expertos.[11][12][29] En pancreatometomía distal, el abordaje robótico parece especialmente favorable para reducir conversiones y aumentar la preservación esplénica.[13][14]

Otros resultados siguen siendo inconsistentes. Las tasas de fístula pancreática clínicamente relevante favorecen a la RPD en algunos metaanálisis observacionales, pero los ECA disponibles no confirman de forma robusta este beneficio e incluso el ensayo EUROPA mostró resultados desfavorables para la RPD en determinados eventos pancreáticos.[1][17] La mortalidad a 30 y 90 días suele ser similar entre abordajes, aunque algunos análisis en pancreatometomía distal sugieren menor mortalidad a 30 días con el abordaje robótico.[13] La rentabilidad continúa siendo muy dependiente del volumen, la experiencia, la estructura de costes y la inclusión de casos durante la curva de aprendizaje.[21][25][32]

En conjunto, la cirugía pancreática robótica puede considerarse una estrategia segura, viable y oncológicamente equivalente a los abordajes convencionales en entornos altamente seleccionados: centros de alto volumen, equipos entrenados y cirujanos que han superado la curva de aprendizaje.[7][11][12][23] Sus ventajas más reproducibles son menor pérdida sanguínea, menor estancia hospitalaria, menor conversión frente a laparoscopia y mayor preservación esplénica en pancreatometomía distal.[3][8][13][14] Sin embargo, la evidencia sigue limitada por el predominio de estudios retrospectivos, la heterogeneidad clínica y técnica, el sesgo de selección, la curva de aprendizaje y la falta de ECA multicéntricos con criterios de valoración estandarizados.

Por tanto, la literatura actual no justifica una superioridad universal de la cirugía pancreática robótica, sino un beneficio potencial dependiente del contexto, especialmente en programas maduros y de alto volumen. Siguen siendo necesarios ECA multicéntricos, con estratificación por patología benigna frente a maligna, ajuste por volumen y curva de aprendizaje, definiciones homogéneas de complicaciones pancreáticas, seguimiento oncológico prolongado y análisis coste-efectividad comparables entre sistemas sanitarios.[1][2][7][23]

Referencias cirugía pancreática

- **1.** Robotic Versus Open Partial Pancreatoduodenectomy (EUROPA): A Randomised Controlled Stage 2b Trial. *The Lancet Regional Health. Europe.* 2024. Klotz R, Mihaljevic AL, Kulu Y, et al.
- **2.** Minimally invasive versus open distal pancreatectomy for resectable pancreatic cancer (DIPLOMA): An international randomised trial. *Journal of Clinical Oncology.* 2023. Hilal M, Korrel M, Jones L, et al.
- **3.** Outcomes of Laparoscopic, Robotic, and Open Pancreatoduodenectomy: A Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials and Propensity-Score Matched Studies. *Surgery.* 2022. Kabir T, Tan HL, Syn NL, et al.
- **4.** Perioperative Outcomes of Robotic vs Laparoscopic Pancreatoduodenectomy: A Meta-Analysis and Trial Sequential Analysis. *Surgical Endoscopy.* 2025. Armengol-García C, Blandin-Alvarez V, Sharma E, et al.
- **5.** Robotic Versus Laparoscopic Pancreaticoduodenectomy: An Up-to-Date System Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Oncology.* 2022. Ouyang L, Zhang J, Feng Q, et al.
- **6.** Robotic-Assisted Versus Open Pancreaticoduodenectomy for Patients With Benign and Malignant Periapillary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Short-Term Outcomes. *Surgical Endoscopy.* 2020. Podda M, Gerardi C, Di Saverio S, et al.
- **7.** From Open to Robot-Assisted Pancreatoduodenectomy: What RCTs Really Show. *Journal of Clinical Medicine.* 2026. Cattelani A, Montorsi RM, Marchetti A, et al.
- **8.** Robotic Versus Open and Laparoscopic Pancreaticoduodenectomy: A Nationwide Matched Study in Japan. *Annals of Surgery.* 2025. Ikenaga N, Kumamaru H, Inomata M, et al.
- **9.** Minimally Invasive Versus Open Pancreaticoduodenectomy for Periapillary Tumors: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Surgical Endoscopy.* 2025. Zhang J, Chen F, Tang G, Chen R, Zhou R.
- **10.** Robotic Pancreaticoduodenectomy: Current Evidence and Future Perspectives. *Journal of Clinical Medicine.* 2025. Caringi S, Delvecchio A, Casella A, et al.
- **11.** Oncological Outcome After Robot-Assisted Versus Open Pancreatoduodenectomy for Upfront Resectable Cancer in the Pancreatic Head: A Nationwide Cohort Analysis. *The British Journal of Surgery.* 2025. Menso JE, Bruna CL, Ali M, et al.
- **12.** Perioperative and Oncological Outcomes of Robotic Versus Open Pancreaticoduodenectomy in Low-Risk Surgical Candidates: A Multicenter Propensity Score-Matched Study. *Annals of Surgery.* 2023. Liu Q, Zhao Z, Zhang X, et al.
- **13.** Perioperative Outcomes in Robotic, Laparoscopic, and Open Distal Pancreatectomy: A Network Meta-Analysis and Meta-Regression. *Cancers.* 2025. Abdul Halim N, Sadot E, Negoii I.
- **14.** Robot-Assisted Versus Laparoscopic Distal Pancreatectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis Including Patient Subgroups. *Surgical Endoscopy.* 2023. van Ramshorst TME, van Bodegraven EA, Zampieri P, et al.
- **15.** Pancreaticoduodenectomy for Benign and Premalignant Pancreatic and Ampullary Disease: Is Robotic Surgery the Better Approach?. *Surgical Endoscopy.* 2023. Mungo B, Hammad A, AlMai S, et al.
- **16.** Robotic-Assisted Versus Open Distal Pancreatectomy for Benign and Low-Grade Malignant Pancreatic Tumors: A Propensity Score-Matched Study. *Surgical Endoscopy.* 2021. Weng Y, Jin J, Huo Z, et al.
- **17.** Does Robotic Pancreatoduodenectomy Reduce the Incidence of Clinically Relevant Pancreatic Fistula? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy.* 2025. Marchese T, Valle V, Spampinato MG, et al.
- **18.** Systematic Review and Meta-Analysis of Cost-Effectiveness of Minimally Invasive Versus Open Pancreatic Resections. *Langenbeck's Archives of Surgery.* 2023. Lee S, Varghese C, Fung M, et al.
- **19.** Nationwide Outcomes of 1000 Robotic Pancreatoduodenectomies Across the Four Phases of the Learning Curve. *The British Journal of Surgery.* 2025. Emmen AMLH, van den Broek BLJ, Hendriks TE, et al.
- **20.** Superiority of Robotic Over Laparoscopic Distal Pancreatectomy in Surgical Outcomes Evaluated by

Textbook Outcome. Surgical Endoscopy. 2026. Murata Y, Segi Y, Komatsubara H, et al.

→ **21.** Cost-Analysis of Implementing Robot-Assisted Versus Open Pancreatoduodenectomy. *Annals of Surgery*. 2025. Menso JE, Francken MFG, de Graaf N, et al.

→ **22.** Open vs Robotic-Assisted Pancreaticoduodenectomy, Cost-Effectiveness and Long-Term Oncologic Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Gastrointestinal Surgery : Official Journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*. 2024. Neshan M, Padmanaban V, Chick RC, Pawlik TM.

→ **23.** Minimally Invasive versus Open Pancreatoduodenectomy for Resectable Neoplasms. *NEJM Evidence*. 2025. de Graaf N, Emmen AMLH, Ramera M, et al.

→ **24.** Learning Curve Stratified Outcomes After Robotic Pancreatoduodenectomy: International Multicenter Experience. *Surgery*. 2024. Jones LR, Zwart MJW, de Graaf N, et al.

→ **25.** The “Big Short” of Minimally Invasive Pancreaticoduodenectomy for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. A Cost-Effectiveness Analysis Based on Randomized Trials. *HPB : The Official Journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association*. 2025. Ricci C, Alberici L, D'Ambra V, et al.

→ **26.** Comprehensive Comparative Analysis of Cost-Effectiveness and Perioperative Outcomes Between Open, Laparoscopic, and Robotic Distal Pancreatectomy. *HPB : The Official Journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association*. 2018. Magge DR, Zenati MS, Hamad A, et al.

→ **27.** Association of Mentorship and a Formal Robotic Proficiency Skills Curriculum With Subsequent Generations' Learning Curve and Safety for Robotic Pancreaticoduodenectomy. *JAMA Surgery*. 2020. Rice MK, Hodges JC, Bellon J, et al. Observational

→ **28.** Perioperative Outcomes of Robotic Pancreaticoduodenectomy: A Propensity-Matched Analysis to Open and Laparoscopic Pancreaticoduodenectomy. *Journal of Gastrointestinal Surgery : Official Journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*. 2021. van Oosten AF, Ding D, Habib JR, et al.

→ **29.** Outcomes of Robotic Versus Laparoscopic Pancreatoduodenectomy Following Learning Curves of Surgeons: A Multicenter Study on 2255 Patients. *Annals of Surgery*. 2023. Zhang XP, Xu S, Zhao ZM, et al.

→ **30.** Competency, Proficiency, and Mastery: Learning Curves for Robotic Distal Pancreatectomy at 16 International Expert Centers. *Annals of Surgery*. 2024. Müller PC, Kuemmerli C, Billeter AT, et al.

→ **31.** The Feasibility, Proficiency, and Mastery Learning Curves in 635 Robotic Pancreatoduodenectomies Following a Multicenter Training Program: “Standing on the Shoulders of Giants”. *Annals of Surgery*. 2023. Zwart MJW, van den Broek B, de Graaf N, et al.

→ **32.** Evaluating the Economic Efficiency of Open, Laparoscopic, and Robotic Distal Pancreatectomy: An Updated Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2024. Koh YX, Zhao Y, Tan IE, et al.

5.1.5. Cirugía hepática

La evidencia sobre cirugía hepática robótica (RLR) está creciendo de forma acelerada, aunque continúa siendo predominantemente retrospectiva y metodológicamente heterogénea. La literatura actual incluye múltiples revisiones sistemáticas, metaanálisis, grandes cohortes multicéntricas internacionales y estudios con emparejamiento por puntuación de propensión, pero prácticamente carece de ensayos controlados aleatorizados (ECA). Un metaanálisis en red sobre carcinoma hepatocelular (CHC), que incluyó 69 estudios y 13 257 pacientes, identificó únicamente 1 ECA, junto con 3 estudios prospectivos y 65 estudios retrospectivos emparejados.[1] Del mismo modo, el metaanálisis comparativo más amplio entre resección hepática robótica y laparoscópica (31 estudios; 8.989 resecciones robóticas frente a 43.474 laparoscópicas) no encontró ECA elegibles.[2] La evidencia observacional de mayor calidad procede actualmente de grandes estudios multicéntricos internacionales con PSM, algunos con más de 10 000 pacientes y participación de hasta 68 centros.[3][4]

En términos perioperatorios, los hallazgos son relativamente consistentes. La RLR muestra menor o comparable pérdida sanguínea frente a la resección laparoscópica (LLR) y significativamente menor frente a la cirugía abierta (OLR).[1-4] Asimismo, las tasas de conversión a cirugía abierta son claramente inferiores respecto a la laparoscopia, con reducciones aproximadas del 50–60 % (RR ~0,41).[2][3][7] La morbilidad global y la morbilidad grave (Clavien-Dindo $\geq$ IIIa) tienden a ser menores o comparables en el abordaje robótico.[2][4][6][8] También se observa una estancia hospitalaria más corta frente a la cirugía abierta.[3][4][7][8]

Por el contrario, el tiempo operatorio suele ser mayor con cirugía robótica, generalmente entre 30 y 37 minutos adicionales respecto a la laparoscopia, aunque algunos estudios muestran resultados comparables o incluso favorables en resecciones complejas.[2][5-7] Los costes intraoperatorios son consistentemente superiores, con incrementos aproximados de 5000 USD por caso, aunque parte de esta diferencia puede compensarse mediante menores estancias y menor utilización de UCI.[8][10] La mortalidad perioperatoria no muestra diferencias significativas entre abordajes.[2][11][12]

La heterogeneidad constituye una limitación fundamental de esta literatura. Existe gran variabilidad en las indicaciones quirúrgicas: la mayoría de las series incluyen tanto enfermedad benigna como maligna, aunque más del 75 % de los casos robóticos corresponden a neoplasias malignas.[11] Las indicaciones benignas — como hepatolitiasis, hemangioma o hiperplasia nodular focal— están claramente infrarrepresentadas y rara vez se analizan por separado.[8][13][14] Además, los estudios incluyen procedimientos con grados de complejidad muy distintos, desde resecciones anterolaterales menores hasta hepatectomías mayores de alta dificultad según la clasificación IWATE.[4][15] Los análisis de subgrupos sugieren que las ventajas de la plataforma robótica son más relevantes en resecciones complejas, posterosuperiores o mayores, mientras que las diferencias en resecciones menores suelen ser clínicamente discretas.[2-4][8][15]

La experiencia del cirujano y el volumen institucional representan otra fuente importante de heterogeneidad. Las curvas de aprendizaje publicadas oscilan entre aproximadamente 15 casos para hepatectomía derecha robótica y más de 30 resecciones mayores según análisis CUSUM.[9][16] Esto limita la extrapolación de resultados procedentes de centros expertos con programas altamente consolidados.

También existe variabilidad geográfica considerable, ya que las bases multicéntricas abarcan más de dos décadas (2003–2024) y múltiples sistemas sanitarios internacionales, con diferencias en protocolos perioperatorios, criterios de selección y generaciones de plataformas robóticas.[3][4][11]

Diversos sesgos afectan de forma sistemática la interpretación de los resultados. El sesgo de selección es probablemente el más relevante: los casos robóticos suelen ser seleccionados por cirujanos con preferencia por anatomías favorables o pacientes cuidadosamente escogidos.[5][6] Incluso tras PSM persisten factores de confusión no medidos, como experiencia quirúrgica, estrategias institucionales o complejidad anatómica. Curiosamente, la dirección del sesgo no es uniforme: algunos estudios muestran tumores más complejos en las cohortes robóticas, mientras que otros reservan la cirugía abierta para casos técnicamente más difíciles.[5][6]

“La evidencia actual respalda la resección hepática robótica como una técnica segura y viable, con resultados perioperatorios al menos comparables a la laparoscopia”

También existe un claro sesgo de publicación, ya que gran parte de la experiencia publicada procede de centros pioneros y de alto volumen.[11] Los programas con peores resultados o abandonados probablemente estén infrarrepresentados. El sesgo de curva de aprendizaje es igualmente relevante: la inclusión de casos iniciales puede infraestimar el verdadero potencial de la cirugía robótica, mientras que las publicaciones tardías de programas ya maduros pueden sobreestimar sus beneficios.[9][16] Además, varios autores han señalado la necesidad de ECA independientes de la industria debido al posible conflicto derivado de la relación entre fabricantes de plataformas robóticas y centros quirúrgicos.[17]

Los esfuerzos por mejorar la comparabilidad incluyen el uso creciente de PSM, emparejamiento exacto simplificado (CEM) y sistemas de estratificación de complejidad como la puntuación IWATE.[3][4][15][18] Este último ha permitido demostrar que el beneficio relativo de la cirugía robótica aumenta conforme crece la dificultad técnica del procedimiento, especialmente en resecciones avanzadas o expertas.[15][18] Sin embargo, incluso tras el ajuste estadístico, persisten desequilibrios en variables clave como cirrosis, biología tumoral o proporción de patología benigna frente a maligna.[6][8]

A pesar de esta heterogeneidad, varios hallazgos son notablemente reproducibles. La cirugía hepática robótica presenta de forma consistente menores tasas de conversión que la laparoscópica.[2-4][8] La pérdida sanguínea es menor o comparable, particularmente

en hepatectomías mayores y complejas.[2-5] Los resultados oncológicos —incluyendo tasas de resección R0, supervivencia libre de enfermedad y supervivencia global— parecen equivalentes entre cirugía robótica, laparoscópica y abierta tanto para CHC como para metástasis hepáticas colorrectales.[1][12][19][20] Por otro lado, el tiempo operatorio más prolongado y el mayor coste continúan siendo patrones constantes en la mayoría de las series.[6][7][9][11]

Un hallazgo que merece especial atención es el aumento de reingresos a 30 días observado en algunos grandes estudios multicéntricos de cirugía robótica, fenómeno aún insuficientemente explicado y que requiere investigación adicional.[2][3]

En enfermedad hepática benigna, la evidencia sigue siendo limitada. La mayoría de los estudios incluyen indicaciones benignas dentro de cohortes mixtas sin análisis específicos.[8][11] Uno de los pocos estudios multicéntricos centrados exclusivamente en hepatolitiasis mostró menores pérdidas sanguíneas y menor conversión con el abordaje robótico frente al laparoscópico.[13] Las series unicéntricas sugieren resultados comparables o ligeramente favorables para la cirugía robótica en determinadas indicaciones benignas, aunque persiste una importante laguna de conocimiento en patologías frecuentes como adenoma hepático, hemangioma o hiperplasia nodular focal.[8][14]

En conjunto, la evidencia actual respalda la resección hepática robótica como una técnica segura y viable, con resultados perioperatorios al menos comparables a la laparoscopia y generalmente superiores a la cirugía abierta en términos de pérdida sanguínea, estancia hospitalaria y morbilidad.[2-4][6][8] La principal ventaja incremental parece concentrarse en resecciones técnicamente complejas, mayores o localizadas en segmentos posterosuperiores.[4][15] Sin embargo, la interpretación de la literatura continúa limitada por la ausencia casi total de ECA, la heterogeneidad metodológica y clínica, y la presencia de importantes sesgos de selección y publicación. Siguen siendo necesarios ECA multicéntricos independientes de la industria, con definiciones estandarizadas de resultados y seguimiento oncológico a largo plazo, para definir con mayor precisión el papel de la cirugía robótica en cirugía hepática.[11][17]

Referencias cirugía hepática

- **1.** Feasibility of Robotic Liver Resection Compared With Laparoscopic and Open Liver Resection for Hepatocellular Carcinoma: A Network Meta-Analysis. *International Journal of Surgery*. 2025. Kim SH, Kim KH, Pinto-Marques H, Coelho JS.
- **2.** Robotic Versus Laparoscopic Liver Resection: A Systematic Review and Meta-Analysis of Comparative Studies. *International Journal of Surgery*. 2025. Pilz da Cunha G, Hoogteijling TJ, Besselink MG, et al.
- **3.** Propensity Score-Matched Analysis Comparing Robotic Versus Laparoscopic Minor Liver Resections of the Anterolateral Segments: An International Multicenter Study of 10,517 Cases. *Annals of Surgery*. 2026. Hu J, Guo Y, Wang X, et al.
- **4.** Propensity-Score Matched and Coarsened-Exact Matched Analysis Comparing Robotic and Laparoscopic Major Hepatectomies: An International Multicenter Study of 4822 Cases. *Annals of Surgery*. 2023. Liu Q, Zhang W, Zhao JJ, et al.
- **5.** Comparison of Robotic and Open Liver Resections for Primary Liver Tumors: A Multicenter Retrospective Analysis of Perioperative Outcomes, Morbidity and Mortality. *Surgical Endoscopy*. 2026. Steinkraus KC, Schlag F, Mihaljevic AL, et al.
- **6.** Comparative Clinical Outcomes of Robot-Assisted Liver Resection Versus Laparoscopic Liver Resection: A Meta-Analysis. *PloS One*. 2020. Zhang L, Yuan Q, Xu Y, Wang W.
- **7.** A Meta-Analytic and Systematic Review to Compare Perioperative Outcomes and Prognosis Between Robotic and Conventional (Laparoscopic or Open) Liver Resection in Hepatocellular Carcinoma Cases. *World Journal of Surgical Oncology*. 2025. Hu L, Shi X, Wang A, Zhang F.
- **8.** Complete Transition From Laparoscopic to Robotic Liver Surgery Achieves Superior Outcomes in Difficult Hepatectomies: A Seven-Year Retrospective Study. *Surgical Endoscopy*. 2025. Haugen C, Noriega M, Andy C, et al.
- **9.** One Hundred and Fifty-Two Robotic Hepatectomies at a North American Hepatobiliary Program: Evolution of Practice, Learning Curve, Appraisal of Outcomes, and Cost Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2025. Hawksworth J, Radkani P, Shoucair S, et al.
- **10.** Does Robotic Liver Surgery Enhance R0 Results in Liver Malignancies During Minimally Invasive Liver Surgery?—a Systematic Review and Meta-Analysis. *Cancers*. 2022. Rahimli M, Perrakis A, Andric M, et al.
- **11.** The Impact of Robotics in Liver Surgery: A Worldwide Systematic Review and Short-Term Outcomes Meta-Analysis on 2,728 Cases. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences*. 2022. Ciria R, Berardi G, Alconchel F, et al.
- **12.** Comparing Open, Laparoscopic and Robotic Liver Resection for Metastatic Colorectal Cancer—A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Journal of Surgical Oncology*. 2025. Mkabaah LB, Davey MG, Kerin EP, et al.
- **13.** Robotic Versus Laparoscopic Liver Resections for Hepatolithiasis: An International Multicenter Propensity Score Matched Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2023. Kwak BJ, Lee JH, Chin KM, et al.
- **14.** A Decade of Innovation: Short-Term Outcomes of 150 Robotic Liver Resections. *Journal of Clinical Medicine*. 2025. Pasquale A, Ciarleglio FA, Marinelli L, et al.
- **15.** Robotic-Assisted Versus Laparoscopic Versus Open Liver Resection: Comparison of Postoperative Outcomes According to the IWATE Difficulty Score. *Surgical Endoscopy*. 2025. Abdelhadi S, El-Ahmar M, Abbasi Dezfouli S, et al.
- **16.** Implementation and Outcome of Robotic Liver Surgery in the Netherlands: A Nationwide Analysis. *Annals of Surgery*. 2023. Görges B, Zwart M, Nota CL, et al.
- **17.** Innovation for the Sake of Innovation? How Does Robotic Hepatectomy Compare to Laparoscopic or Open Resection for HCC—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cancers*. 2022. Murtha-Lemekhova A, Fuchs J, Hoffmann K.
- **18.** Comparison of Robotic and Laparoscopic Liver Resection Within One Couinaud Segment: A Propensity Score-Based Analysis. *World Journal of Surgery*. 2025. Danzeng A, Deji B, Yang ZH, et al.
- **19.** A Prospective Study Using Propensity Score Matching to Compare Long-Term Survival Outcomes After Robotic-Assisted, Laparoscopic, or Open Liver Resection for Patients With BCLC Stage 0-a Hepatocellular Carcinoma. *Annals of Surgery*. 2023. Zhu P, Liao W, Zhang WG, et al.
- **20.** Initial Experience With Robotic Liver Resection: Audit of 120 Consecutive Cases at a Single Center and Comparison With Open and Laparoscopic Approaches. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences*. 2023. Kato Y, Sugioka A, Kojima M, et al.

5.1.6. Cirugía colorrectal benigna

La evidencia sobre el uso de plataformas robóticas en enfermedad colorrectal benigna sigue siendo heterogénea y metodológicamente limitada. La literatura está compuesta principalmente por estudios observacionales, con un número reducido de ensayos controlados aleatorizados (ECA).[1][4] Esta predominancia de estudios no aleatorizados limita la inferencia causal y aumenta el riesgo de sesgo de selección, ya que el abordaje robótico puede reservarse para pacientes, centros o escenarios quirúrgicos concretos.[2][3] Además, los resultados han evolucionado con el tiempo, reflejando tanto la curva de aprendizaje como las mejoras tecnológicas y organizativas asociadas a la cirugía robótica.[4]

Una limitación importante es la heterogeneidad en la notificación de resultados. Las complicaciones se definen y clasifican de forma variable entre estudios, lo que dificulta diferenciar de manera fiable entre complicaciones menores y mayores.[4] Esta falta de estandarización, junto con la escasa estratificación por patología, complejidad del caso y experiencia del cirujano, limita la comparabilidad entre series y reduce la solidez de las conclusiones.[5][13] A ello se añade la ausencia de seguimiento a largo plazo en buena parte de la literatura, especialmente en enfermedad benigna.[5]

Los datos de metarregresión sugieren una mejora progresiva de los resultados robóticos con el tiempo, probablemente relacionada con la acumulación de experiencia y la superación de la curva de aprendizaje.[4] Este aspecto es relevante, ya que los estudios iniciales pueden infraestimar el rendimiento actual de la cirugía robótica, mientras que las series recientes de centros expertos podrían sobreestimar su aplicabilidad general. Por tanto, la experiencia institucional y el volumen quirúrgico deben considerarse factores clave al interpretar esta evidencia.

En la comparación con la cirugía laparoscópica, los metaanálisis de ECA no muestran diferencias significativas en complicaciones posoperatorias globales entre ambos abordajes.[4] No obstante, los estudios observacionales ofrecen resultados más variables. Un amplio estudio del NSQIP encontró menor morbilidad y mortalidad posoperatoria con colectomía robótica, mientras que un análisis poblacional en Medicare no observó diferencias significativas en complicaciones frente a la lapa-

roscopia.[2][3] Estas discrepancias probablemente reflejan diferencias en selección de pacientes, indicaciones, experiencia quirúrgica y métodos de ajuste estadístico.

La ventaja más consistente de la cirugía robótica es la menor tasa de conversión a cirugía abierta. Esta reducción se ha observado de forma repetida en distintos estudios y parece especialmente relevante en escenarios técnicamente complejos, como la enfermedad diverticular complicada, donde la inflamación, la fibrosis y la distorsión anatómica aumentan la dificultad de la laparoscopia.[4][6] [7] En diverticulitis, las tasas de conversión descritas son inferiores con cirugía robótica que con laparoscopia, con diferencias clínicamente relevantes en varias series.[7][9]

“La cirugía robótica no puede considerarse superior de forma universal a la laparoscopia en enfermedad colorrectal benigna, pero sí una alternativa razonable y potencialmente ventajosa en pacientes seleccionados”

El principal inconveniente del abordaje robótico es el mayor tiempo operatorio. Los ECA y metaanálisis muestran incrementos medios cercanos a 40 minutos frente a la laparoscopia.[4] Sin embargo, algunos estudios sugieren posibles beneficios en recuperación funcional, incluyendo menor íleo postoperatorio, reducción del tiempo hasta el primer flato y estancias hospitalarias discretamente más cortas.[1][2] Estos beneficios, aunque potencialmente relevantes, no siempre son consistentes y deben interpretarse en el contexto de la heterogeneidad metodológica y del mayor coste asociado.

El coste continúa siendo una limitación central. La cirugía robótica es sustancialmente más cara que la laparoscópica, con incrementos aproximados del 25 % y hasta 3000 dólares adicionales por procedimiento en algunos análisis.[3] Aunque una menor conversión, menos íleo o estancias más cortas podrían compensar parcialmente este sobrecoste en casos seleccionados, la rentabilidad global sigue sin estar claramente demostrada.[1][8] Esta cuestión es especialmente importante en enfermedad benigna, donde el beneficio incremental debe justificar costes superiores en ausencia de ventajas oncológicas.

En enfermedad diverticular, la evidencia disponible sugiere que el abordaje robótico puede ofrecer un beneficio particular. Una revisión sistemática de 3711 resecciones robóticas por enfermedad diverticular mostró menores tasas de conversión y complicaciones comparables, aunque con mayor tiempo operatorio.[6] Asimismo, estudios con emparejamiento por propensión han descrito menos conversiones, menor estancia hospitalaria, menos complicaciones y menor íleo frente a la laparoscopia.[7][8] En diverticulitis aguda, algunos análisis de bases de datos nacionales muestran menores tasas de ingreso en UCI y de fuga anastomótica frente a cirugía abierta, así como tasas de conversión inferiores frente a laparoscopia.[9] No obstante, estos resultados proceden mayoritariamente de estudios observacionales y deben interpretarse con cautela.

En enfermedad inflamatoria intestinal (EII), la evidencia es más limitada y heterogénea. Un metaanálisis reciente de 13 225 pacientes mostró que la cirugía robótica se asocia con tiempos operatorios más prolongados en resección ileocecal, colectomía subtotal e IPAA, pero con menores tasas de conversión.[10] Las complicaciones generales, quirúrgicas y médicas fueron comparables entre abordajes, con una posible reducción discreta de la estancia hospitalaria en el grupo robótico.[10] Estos datos sugieren seguridad y viabilidad, aunque no demuestran una superioridad clínica clara frente a la laparoscopia. La comparabilidad entre plataformas robóticas es todavía muy limitada. La mayoría de la evidencia procede de una de las primeras plataformas, mientras que los datos sobre plataformas emergentes son aún incipientes.[11] Aunque estas plataformas comparten ventajas potenciales —visualización tridimensional, instrumentos articulados y mejor ergonomía—, faltan estudios comparativos directos que permitan determinar si los resultados son atribuibles a la robótica como concepto o a una plataforma específica.[11] Esta laguna será cada vez más relevante a medida que se diversifique el mercado.

Desde el punto de vista metodológico, el sesgo de selección sigue siendo la principal limitación. Los pacientes sometidos a cirugía robótica pueden diferir sistemáticamente de los tratados por laparoscopia en edad, IMC, comorbilidad, complejidad anatómica o preferencia institucional.[2][12] Incluso el emparejamiento por propensión no elimina completamente factores de confusión no medidos. Los datos poblacionales sugieren que la cirugía robótica se utiliza con mayor frecuencia en pacientes más jóvenes, varones, blancos no hispanos, con mayor IMC y menor carga de comorbilidad.[12]

También deben considerarse el sesgo de publicación y la influencia de la adopción tecnológica. La rápida expansión de la cirugía robótica, impulsada por inversión institucional, marketing y expectativas de innovación, puede favorecer la publicación de resultados positivos procedentes de centros expertos.[3] Además, experiencias negativas, programas con bajo volumen o resultados neutros pueden estar infrarrepresentados. La falta de estandarización en técnica quirúrgica, definición de complicaciones y selección de pacientes limita aún más la interpretación de los resultados.[4][13]

En conjunto, la evidencia actual sugiere que la cirugía robótica para enfermedad colorrectal benigna es segura y viable, con resultados globalmente comparables a la laparoscopia.[1][14][15] Su ventaja más reproducible es la reducción de conversiones a cirugía abierta, especialmente en casos complejos como la enfermedad diverticular con inflamación, fibrosis o anatomía difícil.[4][6][7] También puede asociarse a una recuperación intestinal algo más rápida y menor estancia hospitalaria en determinados contextos.[1][2] Sin embargo, estos beneficios deben ponderarse frente a tiempos operatorios más largos, costes superiores y una evidencia todavía dominada por estudios observacionales.

Por tanto, la cirugía robótica no puede considerarse superior de forma universal a la laparoscopia en enfermedad colorrectal benigna, pero sí una alternativa razonable y potencialmente ventajosa en pacientes seleccionados, patologías complejas y centros con experiencia. Las investigaciones futuras deberían priorizar ECA de alta calidad, definiciones estandarizadas de complicaciones, estratificación por enfermedad —especialmente diverticulitis y EII—, análisis coste-efectividad, evaluación por plataforma robótica y seguimiento a largo plazo.[5][11][13]

Referencias cirugía colorrectal benigna

- **1.** Robotic Versus Laparoscopic Approach in Colonic Resections for Cancer and Benign Diseases: Systematic Review and Meta-Analysis. PloS One. 2015. Trastulli S, Cirocchi R, Desiderio J, et al.
- **2.** Surgical and Medical Outcomes in Robotic Compared to Laparoscopic Colectomy Global Prospective Cohort From the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program. Surgical Endoscopy. 2024. de Almeida Leite RM, Araujo SEA, de Souza AV, et al.
- **3.** Perioperative Outcomes and Trends in the Use of Robotic Colectomy for Medicare Beneficiaries From 2010 Through 2016. JAMA Surgery. 2020. Sheetz KH, Norton EC, Dimick JB, Regenbogen SE. Observational
- **4.** Robotic Versus Laparoscopic Surgery for Colorectal Disease: A Systematic Review, Meta-Analysis and Meta-Regression of Randomised Controlled Trials. Annals of the Royal College of Surgeons of England. 2024. Thrikandiyur A, Kourounis G, Tingle S, Thambi P.
- **5.** Current Evidence in Robotic Colorectal Surgery. Cancers. 2025. Willis F, Amati AL, Reichert M, et al.
- **6.** A Systematic Review and Meta-Analysis of Robotic Resections for Diverticular Disease. Colorectal Disease: The Official Journal of the Association of Coloproctology of Great Britain and Ireland. 2022. Larkins K, Mohan H, Apte SS, et al.
- **7.** Robotic Versus Conventional Laparoscopic Technique for the Treatment of Left-Sided Colonic Diverticular Disease: A Systematic Review With Meta-Analysis. International Journal of Colorectal Disease. 2022. Giuliani G, Guerra F, Coletta D, et al.
- **8.** The American Society of Colon and Rectal Surgeons Clinical Practice Guidelines for the Treatment of Left-Sided Colonic Diverticulitis. Diseases of the Colon and Rectum. 2020. Hall J, Hardiman K, Lee S, et al. Guideline
- **9.** Robotic Colorectal Surgery in the Emergent Diverticulitis Setting: Is It Safe? A Review of Large National Database. International Journal of Colorectal Disease. 2023. Curfman KR, Jones IF, Conner JR, et al.
- **10.** Comparison of Laparoscopic and Robotic Surgery for Inflammatory Bowel Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. Surgical Endoscopy. 2026. Lucarini A, Belloni E, Litchinko A, Mercantini P, Panis Y.
- **11.** How Robotic Platforms Are Revolutionizing Colorectal Surgery Techniques: A Comparative Review. Expert Review of Medical Devices. 2025. Hussain M, Jaffar-Karballai M, Kayali F, et al.
- **12.** Clinical Outcomes of Elective Robotic vs Laparoscopic Surgery for Colon Cancer Utilizing a Large National Database. Surgical Endoscopy. 2023. Ahuja V, Paredes LG, Leeds IL, Perkal MF, King JT.
- **13.** Laparoscopic Versus Robotic Abdominal and Pelvic Surgery: A Systematic Review of Randomised Controlled Trials. Surgical Endoscopy. 2023. Kawka M, Fong Y, Gall TMH.
- **14.** Robotic Versus Laparoscopic Surgery for Colonic Disease: A Meta-Analysis of Postoperative Variables. Surgical Endoscopy. 2015. Zarak A, Castillo A, Kichler K, et al.
- **15.** Laparoscopic Versus Robotic-Assisted, Left-Sided Colectomies: Intra- And Postoperative Outcomes of 683 Patients. Surgical Endoscopy. 2022. Gass JM, Daume D, Schneider R, et al.

5.1.7. Cirugía colorrectal maligna

la evidencia sobre cirugía asistida por robot (RAS) frente a cirugía laparoscópica (LS) en enfermedad colorrectal maligna está aumentando, aunque continúa marcada por heterogeneidad metodológica, sesgos relevantes y resultados no siempre consistentes. La evidencia es más sólida en cáncer de recto, especialmente en tumores de recto medio e inferior, mientras que en cáncer de colon sigue dependiendo en gran medida de estudios retrospectivos y bases de datos observacionales.[9][10][14]

Los dos ensayos aleatorizados de referencia son ROLARR y REAL, con resultados divergentes. El ensayo ROLARR, que incluyó 471 pacientes en 29 centros de 10 países, no encontró diferencias estadísticamente significativas entre cirugía robótica y laparoscópica en conversión a cirugía abierta, positividad del margen circunferencial, complicaciones ni calidad de vida a los 6 meses.[1] Sin embargo, probablemente estuvo infrapotenciado, ya que la tasa global de conversión fue mucho menor de la esperada. En contraste, el ensayo REAL, con 1171 pacientes de 11 centros chinos, demostró mejores resultados oncológicos a 3 años con cirugía robótica en cáncer de recto medio e inferior, incluyendo menor recurrencia locorregional, mayor supervivencia libre de enfermedad y mejores resultados funcionales urinarios, sexuales y defecatorios, aunque sin diferencias significativas en supervivencia global.[2]

Los metaanálisis de ECA muestran de forma relativamente consistente que la RAS se asocia con menores tasas de conversión, menor positividad del margen circunferencial y tiempos quirúrgicos más prolongados, habitualmente entre 40 y 50 minutos adicionales.[3-6] En cambio, las tasas globales de complicaciones, mortalidad y resultados oncológicos agregados suelen ser comparables entre ambos abordajes.[3][4][5][6] El análisis secuencial de ensayos sugiere que la evidencia acumulada es más robusta para conversión y positividad del margen circunferencial, pero aún insuficiente para desenlaces como recurrencia tumoral o complicaciones específicas.[4][7]

La heterogeneidad es una limitación transversal. Desde el punto de vista estadístico, los análisis combinados muestran elevada heterogeneidad para duración de la intervención, pérdida sanguínea y estancia hospitala-

ria, con valores de I^2 muy altos en varios metaanálisis.[7][8] Clínicamente, los estudios mezclan cáncer de colon y recto, localizaciones tumorales diversas, diferentes estadios, variabilidad en el uso de neoadyuvancia y distintos niveles de dificultad anatómica.[6][9] Metodológicamente, las definiciones de complicaciones, duración del seguimiento, criterios de valoración funcionales y estrategias estadísticas varían considerablemente entre estudios.[6][14]

La calidad de la evidencia difiere de forma importante según la localización tumoral. En cáncer de recto, la evidencia es más sólida gracias a ECA específicos y a una mayor homogeneidad del objetivo quirúrgico, especialmente en la escisión total del mesorrecto. Aun así, revisiones sistemáticas, incluida Cochrane, han señalado que la falta de uniformidad de los desenlaces y ciertas limitaciones metodológicas impiden extraer conclusiones definitivas para todos los resultados.[14] En cáncer de colon, la evidencia es más débil y procede principalmente de estudios retrospectivos, bases de datos nacionales y análisis con emparejamiento por puntuación de propensión.[10-13] Estos estudios suelen mostrar menor conversión y estancia hospitalaria más corta con RAS, pero sin diferencias claras en mortalidad ni complicaciones mayores.[10][11][12]

Varios sesgos condicionan la interpretación de la literatura. El sesgo de selección es especialmente relevante en estudios observacionales: los pacientes tratados mediante cirugía robótica pueden ser más jóvenes, tener menor carga de comorbilidad, ser intervenidos en centros de mayor volumen o presentar características anatómicas y tumorales distintas.[10][12] Aunque el emparejamiento por puntuación de propensión y otros métodos de ajuste reducen parte de este sesgo, no eliminan factores de confusión no medidos, como la experiencia real del cirujano, la complejidad pélvica o la cultura institucional.

La experiencia quirúrgica y la curva de aprendizaje son factores críticos. En ROLARR, los cirujanos eran expertos en laparoscopia, pero algunos podían encontrarse aún en fase de aprendizaje robótico, lo que probablemente penalizó al brazo robótico.[1] Por el contrario, REAL exigió cirujanos con amplia experiencia en robótica, lo que fortalece la validez interna del estudio pero limita su generalización a centros con menor volumen o programas en fases iniciales.[2] La metarregre-

sión de ECA muestra una tendencia temporal favorable a la cirugía robótica, lo que sugiere que los resultados mejoran conforme aumenta la experiencia y madura la tecnología.[6]

También existen sesgo de publicación, influencia de la industria y sesgo geográfico. En cáncer de colon, algunos metaanálisis han identificado asimetría en gráficos de embudo y pruebas de Egger significativas, compatibles con sesgo de publicación a favor de la cirugía robótica.[16] La adopción creciente de la robótica, pese a evidencia aún no concluyente en algunos escenarios, puede estar influida por expectativas tecnológicas, marketing y preferencias de pacientes y cirujanos.[14] Además, el ensayo REAL se realizó exclusivamente en China, en pacientes con IMC medio más bajo y por cirujanos altamente expertos, lo que puede limitar la extrapolación a poblaciones occidentales y a centros comunitarios.[2]

La comparabilidad entre abordajes se ve afectada por diferencias en la distribución de casos. La cirugía robótica se utiliza con frecuencia en tumores rectales bajos, pacientes obesos, pelvis estrechas o casos técnicamente complejos, lo que puede sesgar los resultados en ambas direcciones.[9][17] Si los casos robóticos son más complejos, sus beneficios podrían estar infraestimados; si se seleccionan pacientes más favorables, podrían estar sobreestimados. Además, casi toda la evidencia publicada procede de uno de los primeros sistemas, con escasa información comparativa sobre plataformas más recientes, lo que limita la generalización de los resultados al conjunto de la cirugía robótica.[9]

A pesar de estas limitaciones, algunos hallazgos son consistentes. La RAS reduce las tasas de conversión frente a LS en ECA, estudios observacionales y metaanálisis.[3-6][10] También se asocia de manera habitual con mayor tiempo quirúrgico y, en algunos análisis, con estancias hospitalarias ligeramente más cortas.[5][6][10][11] Estos beneficios parecen clínicamente más relevantes en cirugía rectal baja y en pacientes anatómicamente complejos, donde la visión tridimensional, los instrumentos articulados y la estabilidad de la plataforma pueden facilitar la disección pélvica.[9][17]

Otros resultados permanecen inconsistentes. Las complicaciones globales no difieren de forma uniforme entre RAS y LS; algunos metaanálisis sugieren menor

morbilidad con robótica, mientras otros no encuentran diferencias significativas.[3-6] La fuga anastomótica también muestra resultados discordantes, con algunos análisis favorables a RAS y otros sin diferencias o incluso con señales desfavorables en determinados subgrupos de colectomía izquierda.[4][8][12][16] Los resultados oncológicos a largo plazo son el área de mayor incertidumbre: REAL sugiere superioridad robótica en cáncer de recto medio e inferior, pero ROLARR y metaanálisis previos no demostraron diferencias claras.[1][2][14]

La relación coste-eficacia sigue siendo controvertida. En colectomía, la laparoscopia continúa siendo más coste-efectiva, con estimaciones muy desfavorables para la robótica en algunos modelos.[18] En cambio, en resección rectal, el ensayo español ROBOCOSTES sugirió que la cirugía robótica puede ser coste-efectiva bajo umbrales estándar de disposición a pagar, probablemente por mejoras en calidad de vida ajustada por años.[19] Estas diferencias refuerzan la necesidad de analizar por separado colon y recto, así como de considerar volumen, complejidad y experiencia institucional.

En conjunto, la cirugía robótica asistida es una alternativa segura y viable a la laparoscopia en cáncer colorrectal, con la evidencia más convincente en cáncer de recto medio e inferior.[2][9][14] Sus ventajas más reproducibles son la menor conversión a cirugía abierta, la posible reducción de positividad del margen circunferencial y mejores resultados funcionales en contextos seleccionados.[2-6] Sin embargo, la evidencia global sigue limitada por heterogeneidad, sesgos de selección y experiencia, escasez de datos específicos para cáncer de colon y resultados inconsistentes en complicaciones, fuga anastomótica, supervivencia y coste-efectividad.

Por tanto, la RAS no debe interpretarse como superior de forma universal a la laparoscopia en todo el cáncer colorrectal, sino como una plataforma con beneficios potenciales en escenarios anatómicamente complejos, especialmente en cirugía rectal baja, pacientes obesos o pelvis estrecha.[9][17] Las prioridades futuras incluyen ECA multicéntricos suficientemente potentes, seguimiento oncológico prolongado, estandarización de desenlaces, análisis estratificados por localización tumoral y complejidad, evaluación de nuevas plataformas robóticas y estudios rigurosos de coste-efectividad.[4][9][14]

Referencias cirugía colorrectal maligna

- **1.** Effect of Robotic-Assisted vs Conventional Laparoscopic Surgery on Risk of Conversion to Open Laparotomy Among Patients Undergoing Resection for Rectal Cancer: The ROLARR Randomized Clinical Trial. The Journal of the American Medical Association. 2017. Jayne D, Pigazzi A, Marshall H, et al.
- **2.** Robotic vs Laparoscopic Surgery for Middle and Low Rectal Cancer. The Journal of the American Medical Association. 2025. Feng Q, Yuan W, Li T, et al.
- **3.** Redefining Precision: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials Comparing Robotic-Assisted Versus Laparoscopic Surgery in Colorectal Cancer. Journal of Surgical Oncology. 2025. Filho MO, Lenzi MC, de Lima PEC, et al.
- **4.** Robotic Versus Laparoscopic Surgery for Colorectal Cancer: A Trial Sequential Meta-Analysis of Randomized Trials. Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A. 2025. Pompeu BF, de Moraes Alves LEB, Pigossi BD, et al.
- **5.** Comparison of Robotic-Assisted Versus Conventional Laparoscopic Surgery in Colorectal Cancer Resection: A Systemic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Frontiers in Oncology. 2023. Huang Z, Huang S, Huang Y, Luo R, Liang W.
- **6.** Robotic Versus Laparoscopic Surgery for Colorectal Disease: A Systematic Review, Meta-Analysis and Meta-Regression of Randomised Controlled Trials. Annals of the Royal College of Surgeons of England. 2024. Thrikandiyur A, Kourounis G, Tingle S, Thambi P.
- **7.** Robotic Versus Conventional Laparoscopic Surgery for Colorectal Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis With Trial Sequential Analysis. World Journal of Surgery. 2019. Ng KT, Tsia AKV, Chong VYL.
- **8.** Short-Term Outcomes in Robot-Assisted Compared to Laparoscopic Colon Cancer Resections: A Systematic Review and Meta-Analysis. Surgical Endoscopy. 2022. Cuk P, Kjær MD, Mogensen CB, et al.
- **9.** Current Evidence in Robotic Colorectal Surgery. Cancers. 2025. Willis F, Amati AL, Reichert M, et al.
- **10.** Robotic and Laparoscopic Colectomy: Propensity Score-Matched Outcomes From a National Cancer Database. The British Journal of Surgery. 2023. Emile SH, Horesh N, Garoufalia Z, et al.
- **11.** Surgical and Medical Outcomes in Robotic Compared to Laparoscopic Colectomy Global Prospective Cohort From the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program. Surgical Endoscopy. 2024. de Almeida Leite RM, Araujo SEA, de Souza AV, et al.
- **12.** Clinical Outcomes of Elective Robotic vs Laparoscopic Surgery for Colon Cancer Utilizing a Large National Database. Surgical Endoscopy. 2023. Ahuja V, Paredes LG, Leeds IL, Perkal MF, King JT.
- **13.** Perioperative Outcomes of Robotic and Laparoscopic Surgery for Colorectal Cancer: A Propensity Score-Matched Analysis. World Journal of Surgical Oncology. 2023. Farah E, Abreu AA, Rail B, et al.
- **14.** Robot-Assisted Versus Conventional Laparoscopic Surgery for Rectal Cancer. The Cochrane Database of Systematic Reviews. 2024. Willis MA, Toews I, Meerpoel JJ, Kalff JC, Vilz TO.
- **15.** Robotic Versus Laparoscopic Minimally Invasive Surgery for Rectal Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Annals of Surgery. 2018. Prete FP, Pezzolla A, Prete F, et al.
- **16.** Systematic Review and Meta-Analysis of Laparoscopic Versus Robotic-Assisted Surgery for Colon Cancer: Efficacy, Safety, and Outcomes-a Focus on Studies From 2020-2024. Cancers. 2024. Negrut RL, Cote A, Caus VA, Maghiar AM.
- **17.** Robotic-Assisted Versus Standard Laparoscopic Surgery for Colorectal Cancer in Obese Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. Computer Assisted Surgery. 2026. Wu H, Zheng L, Xu T, Zhao B, Yang H.
- **18.** Cost-Effectiveness Evaluation of Laparoscopic Versus Robotic Minimally Invasive Colectomy. Annals of Surgery. 2020. Simianu VV, Gaertner WB, Kuntz K, et al.
- **19.** Cost-Effectiveness of Robotic Compared With Laparoscopic Rectal Resection. Results From the Spanish Prospective National Trial ROBOCOSTES. Surgery. 2025. Guerrero-Ortíz MA, Pellino G, Pascual Damietta M, et al.

5.1.8. Cirugía de la pared abdominal

la evidencia sobre el uso de plataformas robóticas en cirugía de la pared abdominal continúa siendo heterogénea y predominantemente observacional, aunque revisiones sistemáticas recientes y estudios basados en grandes bases de datos están aportando comparaciones más robustas.[1][2][3] La calidad metodológica global sigue siendo limitada, con pocos ensayos controlados aleatorizados (ECA) y una importante variabilidad en técnicas, poblaciones y definición de resultados. La revisión ROVER concluyó que, con la evidencia disponible, la reparación robótica de hernias ventrales ofrece ventajas limitadas frente a la laparoscopia.[1] Del mismo modo, un metaanálisis centrado en resultados comunicados por los pacientes calificó la calidad de la evidencia como moderada para dolor postoperatorio y baja o muy baja para calidad de vida, recurrencia, estancia hospitalaria y reingresos.[2]

Los ECA disponibles son escasos. El ensayo PRO-VE-IT fue uno de los primeros estudios prospectivos

aleatorizados en comparar reparación robótica y laparoscópica de hernia ventral con malla intraperitoneal.[4] Otro ECA multicéntrico y ciego no encontró diferencias en estancia hospitalaria a 90 días entre ambos abordajes, aunque sí mayores tiempos operatorios y costes con cirugía robótica.[5][6] Ambos estudios destacan la falta de investigación con bajo riesgo de sesgo en este ámbito.[4][5]

La heterogeneidad técnica es una limitación central. Los estudios incluyen comparaciones frente a cirugía abierta, laparoscópica o ambas, utilizando múltiples técnicas —IPOM, reparación retromuscular, TAR o eTEP—, lo que dificulta la comparación directa.[1][7-10] Además, existe una amplia variabilidad en la complejidad de las hernias tratadas, incluyendo defectos pequeños y grandes, hernias primarias y recurrentes, y pacientes con o sin necesidad de separación de componentes.[7][11][12] El gran volumen de pacientes incluidos en algunos metaanálisis refleja tanto la amplitud como la heterogeneidad de la evidencia disponible.[7]



El sesgo de selección representa una limitación metodológica importante. En los estudios observacionales, la cirugía robótica puede reservarse para hernias complejas o, por el contrario, para pacientes más favorables durante la curva de aprendizaje.[11][13] Incluso los análisis con emparejamiento por puntuación de propensión no eliminan completamente factores de confusión no medidos, como experiencia del cirujano o complejidad anatómica. Un estudio reciente en JAMA Surgery utilizó análisis de variables instrumentales para abordar específicamente este problema, destacando que los estudios previos sobre recurrencia presentaban resultados contradictorios y alto riesgo de sesgo.[13]

La curva de aprendizaje añade complejidad adicional. Las técnicas robóticas avanzadas de reconstrucción de pared abdominal requieren experiencia considerable, y los resultados iniciales pueden verse penalizados por tiempos quirúrgicos prolongados y mayor variabilidad técnica.[3] Esto limita la extrapolación de los resultados de centros expertos de alto volumen a la práctica general.

La comparabilidad entre estudios también se ve afectada por la falta de estandarización en la notificación de resultados. Existen diferencias en duración del seguimiento, definición de complicaciones, aplicación de Clavien-Dindo, cálculo de costes y utilización de escalas de resultados comunicados por los pacientes, como HerQLes, PROMIS o EuraHS.[5][6][14] El protocolo del ensayo ROVHR reconoce explícitamente que la evidencia actual sigue siendo inconsistente y deja lagunas relevantes para la toma de decisiones clínicas.[14]

A pesar de estas limitaciones, algunos hallazgos son consistentes. La cirugía robótica presenta tiempos operatorios significativamente más largos frente a laparoscopia y cirugía abierta, con incrementos cercanos a 65–70 minutos en varios metaanálisis.[1][3][7][10] En cambio, la estancia hospitalaria suele ser más corta frente a cirugía abierta, aunque comparable a la laparoscopia.[1][7][10][11][15]

Frente a cirugía abierta, la reparación robótica se asocia con menores tasas de infección del sitio quirúrgico, menor morbilidad global y menos complicaciones postoperatorias.[1][7][10] Estas ventajas parecen especialmente relevantes en reconstrucciones complejas y separaciones de componentes. Frente a

laparoscopia, los beneficios son más discretos e inconsistentes: algunos estudios no encuentran diferencias en complicaciones globales, mientras otros sugieren menor conversión y menos lesiones intestinales con cirugía robótica.[1][3][5][7]

Los datos sobre recurrencia continúan siendo limitados y heterogéneos. Algunos estudios sugieren menor recurrencia con reparación robótica en hernia inguinal, mientras que los ECA en hernia ventral no muestran diferencias claras a corto plazo.[5][7][16] La ausencia de seguimiento prolongado sigue siendo una de las principales lagunas de la literatura.

El coste continúa siendo uno de los principales inconvenientes del abordaje robótico. La cirugía robótica implica mayores costes que la laparoscopia debido al equipamiento, instrumental y mayor tiempo operatorio.[1][3][6] Aunque parte de este sobrecoste podría compensarse mediante menor estancia y menos complicaciones frente a cirugía abierta, los análisis de coste-efectividad siguen siendo insuficientes y muy dependientes del volumen institucional.[10][15]

La mayoría de los estudios utilizan uno de los sistemas y rara vez especifican la generación de plataforma empleada.[17] La evidencia sobre nuevas plataformas robóticas es aún escasa, lo que limita la generalización futura de los resultados.

En conjunto, la evidencia actual respalda la cirugía robótica de pared abdominal como una técnica segura y viable, particularmente útil en reconstrucciones complejas y reparaciones retromusculares o con separación de componentes.[7][10][11][15] Frente a laparoscopia, sus ventajas parecen más relacionadas con la posibilidad de realizar reparaciones anatómicas complejas por vía mínimamente invasiva que con una reducción clara y consistente de complicaciones.[1][7][8] Sin embargo, la evidencia continúa limitada por la heterogeneidad metodológica, el predominio de estudios retrospectivos, el sesgo de selección y la falta de datos robustos a largo plazo.[1][3][13][14]

Siguen siendo necesarios ECA multicéntricos pragmáticos, seguimiento prolongado de recurrencia, estandarización de resultados y análisis rigurosos de coste-efectividad, así como estudios comparativos entre nuevas plataformas robóticas.[11][14][18]

Referencias cirugía de la pared abdominal

- **1.** Systematic Review and Meta-Analysis on Robotic Assisted Ventral Hernia Repair: The ROVER Review. *Hernia : The Journal of Hernias and Abdominal Wall Surgery*. 2025. Capoccia Giovannini S, Vierstraete M, Frascio M, et al.
- **2.** Patient-Reported Outcomes of Laparoscopic Versus Robotic Primary Ventral and Incisional Hernia Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Hernia : The Journal of Hernias and Abdominal Wall Surgery*. 2023. Dixit R, Prajapati OP, Krishna A, et al.
- **3.** Does Robotic Surgery Have a Role in Abdominal Wall Reconstruction? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery : JPRAS*. 2025. Awad L, Reed B, Bollen E, et al.
- **4.** Patient-Reported Outcomes of Robotic vs Laparoscopic Ventral Hernia Repair With Intraperitoneal Mesh: The PROVE-IT Randomized Clinical Trial. *JAMA Surgery*. 2021. Petro CC, Zolin S, Krpata D, et al. RCT
- **5.** Robotic Versus Laparoscopic Ventral Hernia Repair: One-Year Results From a Prospective, Multicenter, Blinded Randomized Controlled Trial. *Annals of Surgery*. 2021. Dhanani NH, Olavarria OA, Holihan JL, et al.
- **6.** Robotic Versus Laparoscopic Ventral Hernia Repair: Multicenter, Blinded Randomized Controlled Trial. *BMJ*. 2020. Olavarria OA, Bernardi K, Shah SK, et al.
- **7.** Robotic Surgery for Inguinal and Ventral Hernia Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2024. de'Angelis N, Schena CA, Moszkowicz D, et al.
- **8.** A Retrospective Study Comparing the Operative Outcomes of Extraperitoneal, Retrorectus Access Laparoscopic and Robotic-Assisted Ventral Hernia Repairs. *World Journal of Surgery*. 2025. Bindal V, Pandey D, Gupta S, Agarwal P, Dudeja Bindal U.
- **9.** Comparative Safety and Efficacy of Robotic TAPP and IPOM Techniques in Ventral Hernia Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis of Short-Term Outcomes. *Hernia : The Journal of Hernias and Abdominal Wall Surgery*. 2025. Abdelsamad A, Khalil I, Mohamed KA, et al.
- **10.** Open Versus Robotic Transversus Abdominis Release for Ventral Hernia Repair: An Updated Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression. *Surgical Endoscopy*. 2024. Lima DL, da Silveira CAB, de Oliveira CNB, et al.
- **11.** Robotic Versus Open Component Separation: A Retrospective Cohort and Propensity Score Analysis of Complication Rates and Clinical Outcomes. *PloS One*. 2025. Maldonado S, Gonzales C, Desai A, et al.
- **12.** Robotic vs. Open Approach for Older Adults Undergoing Retromuscular Ventral Hernia Repair. *Annals of Surgery*. 2023. Collins CE, Renshaw S, Huang LC, et al.
- **13.** Surgical Approach and Long-Term Recurrence After Ventral Hernia Repair. *JAMA Surgery*. 2024. Fry BT, Howard RA, Thumma JR, et al.
- **14.** Robotic Versus Open Ventral Hernia Repair (ROVHR): A Randomized Controlled Trial Protocol. *Hernia : The Journal of Hernias and Abdominal Wall Surgery*. 2025. Carvalho AC, Woo KP, Ellis RC, et al.
- **15.** Comparisons of Abdominal Wall Reconstruction for Ventral Hernia Repairs, Open Versus Robotic. *Scientific Reports*. 2021. Nguyen B, David B, Shiozaki T, Gosch K, Sorensen GB.
- **16.** Comparison of Perioperative and Mid-Term Outcomes Between Laparoscopic and Robotic Inguinal Hernia Repair. *Surgical Endoscopy*. 2023. Kudsi OY, Bou-Ayash N, Kaoukabani G, Gokcal F.
- **17.** Current Status and Future Perspectives of Robotic Inguinal Hernia Repair. *Surgery Today*. 2022. Saito T, Fukami Y, Kurahashi S, et al.
- **18.** Robot-Assisted Abdominal Wall Surgery: A Systematic Review of the Literature and Meta-Analysis. *Hernia : The Journal of Hernias and Abdominal Wall Surgery*. 2019. Henriksen NA, Jensen KK, Muysoms F.

5.1.9. Cirugía metabólica y bariátrica

La evidencia sobre las plataformas robóticas en cirugía metabólica y bariátrica continúa siendo heterogénea y predominantemente observacional, con resultados inconsistentes y limitaciones metodológicas importantes.[1-3] Aunque la adopción de la cirugía robótica ha aumentado de forma marcada en la última década —pasando aproximadamente del 5-7 % al 25-32 % de los procedimientos entre 2012 y 2022—, la calidad global de la evidencia sigue siendo limitada debido a la escasez de ensayos controlados aleatorizados (ECA) y al predominio de análisis retrospectivos basados en grandes bases de datos, especialmente MBSAQIP.[1][2][4][5]

“La evidencia actual sugiere que la cirugía bariátrica robótica es segura y técnicamente viable, pero sus beneficios parecen depender en gran medida del procedimiento realizado”

La mayoría de los estudios comparativos utilizan cohortes retrospectivas y métodos de emparejamiento por puntuación de propensión para reducir diferencias basales entre grupos, aunque persiste un importante riesgo de factores de confusión no medidos.[4][5] Un metaanálisis de 2021 que incluyó más de 210 000 pacientes confirmó que la evidencia disponible procede casi exclusivamente de estudios observacionales y no de ECA robustos.[6]

La heterogeneidad de los resultados es especialmente relevante porque los hallazgos difieren según el procedimiento bariátrico evaluado. En el bypass gástrico en Y de Roux (RYGB), la cirugía robótica muestra beneficios relativamente consistentes, incluyendo menores tasas de hemorragia, transfusión, infección y, en algunos estudios, menor mortalidad.[2][4][5] En cambio, los resultados de la gastrectomía en manga (SG) son más contradictorios. Diversos análisis recientes han mostrado mayores tasas de complicaciones infecciosas, fugas, reintervenciones y morbilidad global con la SG robótica frente a la laparoscópica.[2][3][7] Sin embargo, otros estudios han encontrado reducciones en hemorragia y estenosis, lo que refleja la falta de consistencia entre series.[4]

Algunos hallazgos sí son uniformes en prácticamente toda la literatura. La cirugía robótica requiere sistemáticamente tiempos operatorios más prolongados, con incrementos aproximados de 25–40 minutos para la SG y de 40–55 minutos para el RYGB.[3][4][6][8] A pesar de ello, ambos abordajes presentan tasas globales bajas de complicaciones y resultados equivalentes en pérdida de peso a medio plazo.[1][5][6]

Los resultados sobre mortalidad y complicaciones mayores son menos consistentes. Un metaanálisis mostró menor mortalidad a 90 días con cirugía robótica,[6] mientras que otros estudios de gran tamaño no encontraron diferencias significativas.[1][5] Asimismo, un análisis longitudinal de Medicare con seguimiento a 7 años mostró resultados metabólicos y clínicos globalmente equivalentes, aunque con mayores tasas de reintervención tras cirugía robótica tanto para SG como para RYGB.[1]

Existen múltiples fuentes de sesgo que limitan la interpretación de la evidencia. El sesgo de selección es particularmente importante, ya que los procedimientos robóticos pueden reservarse para pacientes específicos o realizarse por cirujanos con mayor experiencia tecnológica.[2][4] La curva de aprendizaje también tiene un impacto relevante: estudios recientes muestran que los resultados durante las fases iniciales de implementación robótica son inferiores y que la experiencia acumulada modifica significativamente los resultados perioperatorios.[8]

La variabilidad entre centros representa otro factor importante. Un gran estudio europeo multicéntrico no encontró ventajas globales de la asistencia robótica y observó incluso una tendencia hacia más complicaciones en la SG robótica.[9] Además, muchos estudios abarcan periodos largos (2012-2022), durante los cuales evolucionaron simultáneamente las plataformas robóticas, las técnicas quirúrgicas y la experiencia de los equipos, dificultando aislar el efecto específico de la tecnología.[1][2]

La comparabilidad entre estudios también se ve limitada por las diferencias en definición de complicaciones, utilización inconsistente de clasificaciones como Clavien-Dindo y ausencia de resultados estandarizados a largo plazo.[3-6] La mayoría de las bases de datos solo recogen eventos a 30 días, lo que limita la evaluación de resultados tardíos, pérdida de peso sostenida o eficacia metabólica.[1][3][4]

En conjunto, la evidencia actual sugiere que la cirugía bariátrica robótica es segura y técnicamente viable, pero sus beneficios parecen depender en gran medida del procedimiento realizado.[1][5][6] El perfil más favorable se observa en el RYGB robótico, mientras que la SG robótica ha mostrado resultados inconsistentes e incluso potencialmente desfavorables en estudios recientes de gran tamaño.[2][7][9] Aunque la robótica puede aportar ventajas técnicas en procedimientos complejos, estas deben equilibrarse frente a tiempos operatorios más largos y mayores costes.[3][4][8]

Siguen siendo necesarios ECA multicéntricos de alta calidad, análisis de coste-efectividad y estudios con seguimiento prolongado que permitan definir con mayor precisión el papel de las plataformas robóticas en cirugía metabólica y bariátrica.[1][6][9]

Referencias cirugía metabólica y bariátrica

- **1.** Comparative Safety of Robotic Versus Laparoscopic Bariatric Surgery. *Annals of Surgery*. 2025. Howard R, Thumma J, Norton EC, et al.
- **2.** Robotic-Assisted Bariatric Surgery Compared to Standard Laparoscopy-Utilization Trends, Outcomes, and Operative Times: MBSAQIP Data From 2018 to 2021. *Obesity Surgery*. 2025. Hope W, Gourash W, Ruppert K, Ramanathan R.
- **3.** Robotic vs. Laparoscopic Metabolic and Bariatric Surgery, Outcomes Over 5 Years in Nearly 800,000 Patients. *Obesity Surgery*. 2022. Wesley Vosburg R, Haque O, Roth E.
- **4.** Robot-Assisted Versus Laparoscopic Roux-en-Y Gastric Bypass and Sleeve Gastrectomy: A Propensity Score-Matched Comparative Analysis Using the 2015-2016 MBSAQIP Database. *Surgical Endoscopy*. 2019. Sebastian R, Howell MH, Chang KH, et al.
- **5.** Outcomes in Conventional Laparoscopic Versus Robotic-Assisted Primary Bariatric Surgery: A Retrospective, Case-Controlled Study of the MBSAQIP Data-

base. *Surgical Endoscopy*. 2020. Acevedo E, Mazzei M, Zhao H, et al.

- **6.** Robotic Bariatric Surgery for the Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2021. Zhang Z, Miao L, Ren Z, Li Y.
- **7.** Robotic Sleeve Gastrectomy Has Higher Complication Rates Compared to Laparoscopic: 8-Year Analysis of Robotic Versus Laparoscopic Primary Bariatric Surgery. *Surgery for Obesity and Related Diseases : Official Journal of the American Society for Bariatric Surgery*. 2025. Spurzem GJ, Broderick RC, Kunkel EK, et al.
- **8.** Global Benchmarks in Primary Robotic Bariatric Surgery Redefine Quality Standards for Roux-en-Y Gastric Bypass and Sleeve Gastrectomy. *The British Journal of Surgery*. 2024. Giudicelli G, Gero D, Romulo L, et al.
- **9.** Impact of Robotic Assistance on Complications in Bariatric Surgery at Expert Laparoscopic Surgery Centers: A Retrospective Comparative Study With Propensity Score. *Annals of Surgery*. 2023. Caiazzo R, Bauvin P, Marciniak C, et al.

5.1.10. Cirugía de la mama

La evidencia sobre plataformas robóticas en cirugía mamaria está en expansión, pero sigue limitada por heterogeneidad significativa, sesgos de selección, escasos datos oncológicos a largo plazo y falta de estandarización técnica.[1-3] La mayor parte de la literatura se basa en series retrospectivas, estudios de casos y controles y experiencias unicéntricas. Hasta la fecha, el principal ensayo aleatorizado publicado es el estudio fase III de Toesca et al. (n = 80), unicéntrico y abierto, que comparó la mastectomía robótica con conservación del pezón (R-NSM) frente a la NSM abierta.[4] Los metaanálisis más recientes incluyen 7-8 estudios y alrededor de 1.600-1.700 pacientes, pero reconocen limitaciones relevantes en la calidad y homogeneidad de los estudios incluidos.[1][2]

La heterogeneidad es una limitación central. Los estudios difieren en la plataforma utilizada, la técnica quirúrgica, el uso o no de insuflación, la localización de la incisión, el tipo de reconstrucción y los criterios de selección de pacientes.[3][6][7] Los metaanálisis muestran heterogeneidad alta para variables como tiempo operatorio y estancia hospitalaria, aunque algunos resultados, como la necrosis del complejo areola-pezón, presentan mayor consistencia.[1][2]

El sesgo de selección es especialmente relevante. Las pacientes sometidas a R-NSM suelen ser más jóvenes, con menor IMC, menor volumen mamario y menor pto-sis que las tratadas mediante técnicas convencionales.[8-10] Además, la mayoría de las series proceden de centros expertos de alto volumen, principalmente en Asia y algunos centros europeos, lo que limita la generalización.[4][11-13] La curva de aprendizaje también influye de forma importante: la experiencia acumulada se asocia con menor tiempo quirúrgico, menos complicaciones y menor tasa de márgenes positivos.[10][14]

La comparabilidad entre estudios se ve dificultada por la variabilidad en el tipo de reconstrucción, que puede modificar de forma independiente el perfil de complicaciones.[10] También existen diferencias entre plataformas robóticas. Las series iniciales utilizaron sistemas multipuerto, mientras que otro sistema se ha adoptado progresivamente, especialmente en Corea.[7][15][16] Sin embargo, faltan comparaciones directas robustas entre plataformas. Además, la mayoría de los

datos proceden de poblaciones del este asiático, con volúmenes mamarios habitualmente menores, lo que plantea dudas sobre la aplicabilidad a poblaciones occidentales.[6][7]

A pesar de estas limitaciones, algunos resultados son relativamente consistentes. La R-NSM se asocia con mayor tiempo operatorio, habitualmente entre 48 y 78 minutos adicionales, pero con menor pérdida sanguínea intraoperatoria.[1-4] También se ha descrito una menor tasa de necrosis del complejo areola-pezón y complicaciones graves comparables o inferiores frente a la cirugía convencional.[1][3][5] Los resultados estéticos y de calidad de vida parecen favorecer a la cirugía robótica, aunque dependen de instrumentos de medición no siempre homogéneos.[2][6]

La seguridad oncológica a corto plazo parece comparable, sin diferencias claras en recurrencia local en las series disponibles.[2][7][8] No obstante, el seguimiento sigue siendo limitado, con medianas aproximadas de 28-37 meses, insuficientes para establecer conclusiones definitivas sobre recurrencia y supervivencia a largo plazo.[4][10][12] Este es uno de los principales puntos pendientes de la evidencia actual.

El coste continúa siendo una barrera importante. La R-NSM se asocia con costes iniciales superiores, aunque un análisis de coste-utilidad en Singapur sugirió que podría ser coste-efectiva a largo plazo por menor morbilidad y mejor calidad de vida.[18] Estos resultados, sin embargo, no son fácilmente extrapolables a otros sistemas sanitarios.[6][13] La declaración de consenso IERBS de 2019 representa el principal esfuerzo de estandarización, aunque se basa en opinión experta y no en evidencia definitiva.[11]

En conjunto, la cirugía robótica de mama, fundamentalmente R-NSM, demuestra viabilidad y seguridad a corto plazo, con potenciales ventajas en resultado estético, pérdida sanguínea y preservación del complejo areola-pezón.[1-3] Sin embargo, la evidencia continúa limitada por el predominio de estudios retrospectivos y unicéntricos, sesgo de selección, concentración en centros expertos, heterogeneidad técnica y seguimiento oncológico insuficiente. Estudios prospectivos como MARRES y nuevos ECA serán fundamentales para definir con mayor precisión su papel clínico.[5][19]

Referencias cirugía de la mama

- **1.** Robot-Assisted Versus Open Surgery in Early-Stage Breast Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Breast Cancer*. 2025. Elghazaly S, Fakeh S, Elbarbary S, et al.
- **2.** Postoperative Complications and Surgical Outcomes of Robotic Versus Conventional Nipple-Sparing Mastectomy in Breast Cancer: Meta-Analysis. *The British Journal of Surgery*. 2024. Nessa A, Shaikh S, Fuller M, Masannat YA, Kastora SL.
- **3.** Robot-Assisted Nipple-Sparing Mastectomy: Systematic Review. *The British Journal of Surgery*. 2020. Angarita FA, Castelo M, Englesakis M, McCready DR, Cil TD.
- **4.** A Randomized Trial of Robotic Mastectomy Versus Open Surgery in Women With Breast Cancer or BrCA Mutation. *Annals of Surgery*. 2022. Toesca A, Sangalli C, Maisonneuve P, et al. RCT
- **5.** Mastectomy With Reconstruction Including Robotic Endoscopic Surgery (MARRES): A Prospective Cohort Study of the Korea Robot-Endoscopy Minimal Access Breast Surgery Study Group (KoREa-BSG) and Korean Breast Cancer Study Group (KBCSG). *BMC Cancer*. 2023. Ryu JM, Lee J, Lee J, et al.
- **6.** Emerging Role of Robotic Surgery in the Breast. *Clinical Breast Cancer*. 2024. Doll A, Kopkash K, Baker J.
- **7.** Safety and Feasibility of Single-Port Robotic-Assisted Nipple-Sparing Mastectomy. *JAMA Surgery*. 2024. Farr DE, Haddock NT, Tellez J, et al.
- **8.** Surgical and Oncologic Outcomes of Robotic and Conventional Nipple-Sparing Mastectomy With Immediate Reconstruction: International Multicenter Pooled Data Analysis. *Annals of Surgical Oncology*. 2022. Park HS, Lee J, Lai HW, et al.
- **9.** Post-Operative Complications and Nipple Necrosis Rates Between Conventional and Robotic Nipple-Sparing Mastectomy. *Frontiers in Oncology*. 2021. Lee J, Park HS, Lee H, et al.
- **10.** Comparative Analysis of Oncological and Surgical Outcomes of Robotic Versus Conventional Mastectomy for Breast Cancer. *European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*. 2025. Kuo WL, Huang JJ, Chu CH, et al.
- **11.** Consensus Statement on Robotic Mastectomy-Expert Panel From International Endoscopic and Robotic Breast Surgery Symposium (IERBS) 2019. *Annals of Surgery*. 2020. Lai HW, Toesca A, Sarfati B, et al.
- **12.** Safety and Feasibility of Robotic Nipple-Sparing Mastectomy With Immediate Direct-to-Implant Reconstruction - Insights From the One of the Largest Centers in Asia. *Clinical Breast Cancer*. 2025. Lin YC, Lui SA, Chen MY, Chou YY, Cheng FT.
- **13.** Robotic Versus Conventional Nipple-Sparing Mastectomy With Immediate Breast Reconstruction. *Frontiers in Oncology*. 2021. Houvenaeghel G, Barrou J, Jauffret C, et al.
- **14.** Robotic- Versus Endoscopic-Assisted Nipple-Sparing Mastectomy With Immediate Prosthesis Breast Reconstruction in the Management of Breast Cancer: A Case-Control Comparison Study With Analysis of Clinical Outcomes, Learning Curve, Patient-Reported Aesthetic Results, and Medical Cost. *Annals of Surgical Oncology*. 2020. Lai HW, Chen ST, Tai CM, et al.
- **15.** The First Multicenter Study of Robot-Assisted Breast-Conserving Surgery: Insights From the KoREa-BSG Group. *Surgical Endoscopy*. 2025. Choi HJ, Paek SH, Lee JH, et al.
- **16.** Use of the Da Vinci SP Surgical System in Robot-Assisted Nipple-Sparing Mastectomy: A Single-Center, Retrospective Study. *Scientific Reports*. 2025. Lee SB, Kim J, Chung IY, et al.
- **17.** Robotic Versus Conventional Nipple Sparing Mastectomy and Immediate Gel Implant Breast Reconstruction in the Management of Breast Cancer- A Case Control Comparison Study With Analysis of Clinical Outcome, Medical Cost, and Patient-Reported Cosmetic Results. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery : JPRAS*. 2020. Lai HW, Chen ST, Mok CW, et al.
- **18.** Cost-Effectiveness of Robotic Mastectomy vs. Conventional Mastectomy: A Long-Term Economic Evaluation From a Singapore Healthcare Perspective. *European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*. 2025. Mok CW.
- **19.** Controversies and Strengths of Robot-Assisted Mastectomy. *European Journal of Cancer Prevention : The Official Journal of the European Cancer Prevention Organisation*. 2023. Kim JH, Toesca A, Pozzi G, et al.

5.1.11. Cirugía de urgencias

la evidencia sobre plataformas robóticas en cirugía de urgencias sigue siendo limitada y predominantemente observacional, con una heterogeneidad considerable en el diseño de los estudios, la selección de pacientes y las medidas de resultado.[1][2] Aunque el uso de la robótica en este contexto ha aumentado progresivamente durante la última década, continúan faltando ensayos controlados aleatorizados y datos comparativos de alta calidad.[2][3]

La base de evidencia inicial era particularmente escasa. El documento de posición de la WSES de 2021 identificó únicamente 10 estudios relevantes sobre cirugía robótica de urgencias, incluyendo principalmente informes de casos, pequeñas series y cohortes retrospectivas.[1] Los estudios más recientes, basados en grandes bases de datos administrativas,

han ampliado el volumen de información disponible, aunque mantienen limitaciones metodológicas importantes.[2][3]

La heterogeneidad entre estudios es significativa. Existen diferencias en la definición de cirugía urgente frente a emergente, en los criterios de selección de pacientes, en las técnicas utilizadas y en las variables de resultado analizadas.[2][3] Además, las poblaciones incluidas no son comparables entre sí. Los pacientes sometidos a cirugía robótica suelen ser hemodinámicamente más estables y presentar enfermedad menos avanzada, mientras que los casos con perforación, sepsis o inestabilidad continúan tratándose predominantemente mediante cirugía abierta.[3][4]

El sesgo de selección constituye probablemente la principal limitación de la literatura actual. Los propios autores de los análisis más recientes reconocen que los mejores resultados observados con cirugía robótica pueden reflejar, al menos en parte, la selección preferente de pacientes clínicamente más favorables.[3] También influyen factores institucionales, como la disponibilidad del robot, el acceso fuera del horario habitual y la experiencia específica del cirujano.[1][5]

A pesar de estas limitaciones, algunos hallazgos muestran cierta consistencia. La reducción de las tasas de conversión a cirugía abierta es probablemente el resultado más reproducible en distintos procedimientos de urgencia. En comparación con la laparoscopia, la cirugía robótica se ha asociado con menores conversiones en colecistectomía urgente, colectomía de urgencia y reparación urgente de hernias ventrales e inguinales.[2] En cirugía colorrectal urgente, por ejemplo, las tasas de conversión descritas fueron del 7,8 % para cirugía robótica frente al 24,2 % para laparoscopia.[3]

También se han observado estancias hospitalarias ligeramente más cortas con el abordaje robótico en determinados procedimientos, especialmente colectomía y reparación de hernias.[2][3] Sin embargo, los resultados sobre tiempo operatorio son menos consistentes. Algunos estudios no muestran diferencias significativas respecto a laparoscopia, mientras que otros continúan describiendo procedimientos más prolongados con robótica.[1][4]



La evidencia más consistente dentro de la cirugía de urgencias corresponde actualmente a la cirugía colorrectal urgente. Los estudios recientes sugieren menores tasas de conversión, menor estancia hospitalaria y menos complicaciones quirúrgicas con cirugía robótica frente a laparoscópica en pacientes seleccionados.[3] En colestectomía urgente y reparación urgente de hernias, los datos son más limitados y proceden fundamentalmente de series retrospectivas y análisis de bases de datos.[1][2][4]

La utilización de la cirugía robótica en urgencias continúa aumentando de forma sostenida. Entre 2013 y 2021 se documentó un incremento anual progresivo en colestectomía, colectomía y reparación urgente de hernias, y algunos modelos proyectan que el uso robótico en cirugía colorrectal urgente seguirá creciendo de forma importante en los próximos años.[2][3]

Persisten múltiples lagunas de conocimiento. Continúan faltando datos robustos sobre rentabilidad, criterios óptimos de selección de pacientes, impacto de la curva de aprendizaje, disponibilidad real fuera del horario programado y resultados a largo plazo.[1] Además, las limitaciones inherentes a las bases de datos administrativas —como sesgos de codificación y

ausencia de variables clínicas detalladas— dificultan establecer relaciones causales sólidas.[2][6]

En conjunto, la evidencia actual sugiere que la cirugía robótica de urgencias es factible y segura en pacientes cuidadosamente seleccionados y en centros con experiencia.[1][4] Los beneficios más consistentes parecen ser la reducción de conversiones y una recuperación postoperatoria ligeramente más rápida en determinados procedimientos.[2][3] Sin embargo, la calidad global de la evidencia sigue siendo baja, con importante sesgo de selección y ausencia de ensayos aleatorizados, por lo que continúan siendo necesarios estudios prospectivos multicéntricos que permitan definir mejor el verdadero papel de las plataformas robóticas en cirugía de urgencias.[1][5][6]

España cuenta desde noviembre de 2024 con uno de los dos únicos programas de cirugía robótica de Europa. Sus resultados iniciales revelan ausencia de complicaciones intraoperatorias o conversiones, una clara disminución del dolor y la estancia postoperatoria con un modelo de implementación que ha sido considerado como ejemplar al priorizar la formación y participación de todo el personal del bloque quirúrgico por encima de otros factores [7].

Referencias cirugía de urgencias

- **1.** Robotic Surgery in Emergency Setting: 2021 WSES Position Paper. World Journal of Emergency Surgery : WJES. 2022. de'Angelis N, Khan J, Marchegiani F, et al.
- **2.** Robotic Technology in Emergency General Surgery Cases in the Era of Minimally Invasive Surgery. JAMA Surgery. 2024. Lunardi N, Abou-Zamzam A, Florecki KL, et al.
- **3.** Robotic Surgery in Emergency Colorectal Procedures: Analysis of Outcomes and Future Trends. Journal of the American College of Surgeons. 2025. Ferrari D, Violante T, Novelli M, et al.
- **4.** Cesena Guidelines: WSES Consensus Statement on Laparoscopic-First Approach to General Surgery

Emergencies and Abdominal Trauma. World Journal of Emergency Surgery : WJES. 2023. Sermonesi G, Tian BWCA, Vallicelli C, et al.

- **5.** The Great Debate: Robotic vs Traditional Surgical Approach in the Acute Care Setting. The American Surgeon. 2024. Wu J, Martin MJ, Kirkpatrick V, Cassaro S, Pérez Rodríguez F.
- **6.** The Evidence Behind Robot-Assisted Abdominopelvic Surgery : A Systematic Review. Annals of Internal Medicine. 2021. Dhanani NH, Olavarria OA, Bernardi K, et al.
- **7.** Results of the structured implementation of a robotic acute care surgery program. Piqueras A, Díez A, Marrano E, Protti GP, Samsó RH, Martín-Izquierdo I, Moreno P, Tarascó J, Garsot E, Tolós R, Julián JF, Balibrea JM. J Robot Surg. 2026 Apr 3;20(1):406.

Interpretación clínica y magnitud del beneficio

la evidencia disponible indica que la cirugía robótica en cirugía general ofrece una seguridad global comparable a la laparoscopia, pero no demuestra una superioridad clínica universal.[1][2] Su principal valor aparece en procedimientos técnicamente complejos, donde la menor conversión a cirugía abierta, la reducción de pérdida sanguínea, la precisión en espacios anatómicos estrechos y la posibilidad de reproducir técnicas avanzadas por vía mínimamente invasiva pueden tener impacto clínico relevante.[2][3][17] En procedimientos rutinarios, el beneficio absoluto suele ser pequeño y difícil de justificar frente a tiempos operatorios más prolongados y mayores costes.[1][29][31]

En términos generales, la mortalidad y las complicaciones graves son similares entre cirugía robótica y laparoscópica en la mayoría de los procedimientos.[1][2] Las diferencias más consistentes a favor de la robótica son una menor tasa de conversión a cirugía abierta y una estancia hospitalaria discretamente más corta, aunque la magnitud del beneficio frente a laparoscopia suele ser modesta.[2] En cambio, frente a cirugía abierta, el beneficio es más claro: menor morbilidad global, menor pérdida sanguínea y recuperación más rápida.[2]

La relevancia clínica depende mucho del escenario. En cirugía rectal, esofagectomía, cirugía pancreática y reconstrucción compleja de pared abdominal, la robótica puede aportar valor por mejorar la disección en campos profundos o complejos, reducir conversiones y facilitar procedimientos mínimamente invasivos que de otro modo podrían requerir cirugía abierta.[8][17][33][39] En cirugía de urgencias, el beneficio parece concentrarse en pacientes hemodinámicamente estables y bien seleccionados, con reducciones importantes de conversión en colectomía, colecistectomía y reparación urgente de hernias.[3][22][23]

En procedimientos donde el resultado diferencial es principalmente estético o funcional —como tiroidectomía por acceso remoto o mastectomía robótica con conservación del pezón—, el valor clínico depende de una adecuada selección de pacientes y de que la mejora

cosmética o de calidad de vida sea una prioridad relevante para la paciente.[4][24][26][40] En estos casos, el beneficio puede ser importante desde la perspectiva del paciente, aunque se acompaña de mayor tiempo quirúrgico y coste.

La magnitud del beneficio es menor o incierta en procedimientos de baja complejidad, como colecistectomía rutinaria, hernia inguinal simple o cirugía bariátrica estándar.[13][14][29] En bariátrica, los resultados son especialmente dependientes del procedimiento: el bypass gástrico robótico muestra señales más favorables que la gastrectomía en manga, donde algunos estudios recientes sugieren incluso más complicaciones o reintervenciones.[13][14][16]

El coste es una limitación central. La cirugía robótica es sistemáticamente más cara que la laparoscópica, con incrementos relevantes por caso y una rentabilidad desfavorable en procedimientos rutinarios.[29-31] Su valor mejora cuando evita conversiones, reduce complicaciones o acorta estancias en procedimientos complejos y centros de alto volumen.[17][30][33] Por tanto, el análisis de valor debe hacerse por indicación, no por tecnología.

La curva de aprendizaje condiciona fuertemente los resultados. Los beneficios clínicos son más probables en centros con volumen suficiente, equipos entrenados y programas estructurados de formación.[34][36][37] La tutoría y los programas formales pueden acelerar la competencia y reducir el riesgo asociado a la fase inicial de implementación.[38]

En conjunto, la cirugía robótica debe interpretarse como una herramienta de adopción selectiva. Su mayor aplicabilidad está en pacientes y procedimientos donde la complejidad anatómica, el riesgo de conversión, la necesidad de precisión o la prioridad estética/funcional justifican el coste adicional.[3][17][26][39] No debería considerarse una sustitución rutinaria de la laparoscopia, sino una plataforma con valor incremental en escenarios clínicos concretos, especialmente cuando se integra en programas maduros, con volumen adecuado y criterios estrictos de selección.[33][39]



Referencias bibliográficas Interpretación clínica y magnitud del beneficio

- **1.** Laparoscopic Versus Robotic Abdominal and Pelvic Surgery: A Systematic Review of Randomised Controlled Trials. *Surgical Endoscopy*. 2023. Kawka M, Fong Y, Gall TMH.SR
- **2.** The Evidence Behind Robot-Assisted Abdominopelvic Surgery: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Surgical Endoscopy*. 2024. Choi JH, Diab AR, Tsay K, et al.SR
- **3.** Robotic Technology in Emergency General Surgery Cases in the Era of Minimally Invasive Surgery. *JAMA Surgery*. 2024. Lunardi N, Abou-Zamzam A, Florecki KL, et al.
- **4.** Remote-Access Thyroidectomy and Parathyroidectomy: A 2025 Consensus Statement From the Asia-Pacific Society of Thyroid Surgery, American Head and Neck Society, American Association of Endocrine Surgeons, American Thyroid Association, European Society of Endocrine Surgeons, and Latin American Thyroid Society. *Thyroid : Official Journal of the American Thyroid Association*. 2025. Russell JO, Tae K, Roth MY, et al.
- **5.** Robotic Thyroidectomy Versus Conventional Open Thyroidectomy for Thyroid Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2017. Pan JH, Zhou H, Zhao XX, et al.SR
- **6.** Prospective Cohort Study of Parathyroid Function and Quality of Life After Total Thyroidectomy for Thyroid Cancer: Robotic Surgery vs. Open Surgery. *International Journal of Surgery*. 2023. Qin X, Luo J, Ma J, et al.
- **7.** Comparison of surgical outcomes of transoral robotic and endoscopic thyroidectomy: A systematic review and network meta-analysis. *Head & Neck*. 2024. Nguyen VC, Song CM, Ji YB, et al.SR
- **8.** Robotic Techniques in Esophagogastric Cancer Surgery: An Assessment of Short- And Long-Term Clinical Outcomes. *Annals of Surgical Oncology*. 2022. Kamarajah SK, Griffiths EA, Phillips AW, et al.
- **9.** Oesophageal Cancer. *Lancet*. 2024. Yang H, Wang F, Hallemeier CL, Lerut T, Fu J.
- **10.** Robotic Esophagectomy Trends and Early Surgical Outcomes: The US Experience. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2023. Khaitan PG, Vekstein AM, Thibault D, et al.
- **11.** Comparing Outcomes Following Open, Hybrid, Minimally Invasive, and Robotic-Assisted Esophagectomy: A Systematic Review. *European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology*. 2025. Dunne N, Davey MG, Donlon NE.
- **12.** Trends and Outcomes of Robotic Surgery for Gastrointestinal (GI) Cancers in the USA: Maintaining Perioperative and Oncologic Safety. *Surgical Endoscopy*. 2020. Konstantinidis IT, Ituarte P, Woo Y, et al.
- **13.** Comparative Safety of Robotic Versus Laparoscopic Bariatric Surgery. *Annals of Surgery*. 2025. Howard R, Thumma J, Norton EC, et al.
- **14.** Robotic-Assisted Bariatric Surgery Compared to Standard Laparoscopy-Utilization Trends, Outcomes, and Operative Times: MBSAQIP Data From 2018 to 2021. *Obesity Surgery*. 2025. Hope W, Gourash W, Ruppert K, Ramanathan R.
- **15.** Robotic Bariatric Surgery for the Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2021. Zhang Z, Miao L, Ren Z, Li Y.SR
- **16.** Impact of Robotic Assistance on Complications in Bariatric Surgery at Expert Laparoscopic Surgery Centers: A Retrospective Comparative Study With Propensity Score. *Annals of Surgery*. 2023. Caiazzo R, Bauvin P, Marciniak C, et al.
- **17.** Robotic Surgery for Inguinal and Ventral Hernia Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2024. de'Angelis N, Schena CA, Moszkowicz D, et al.SR
- **18.** Robotic Versus Laparoscopic Ventral Hernia Repair: One-Year Results From a Prospective, Multicenter, Blinded Randomized Controlled Trial. *Annals of Surgery*. 2021. Dhanani NH, Olavarria OA, Holihan JL, et al.RCT
- **19.** Surgical Approach and Long-Term Operative Recurrence Following Groin Hernia Repair. *JAMA Surgery*. 2026. Niba VS, Howard RA, Thumma J, et al.
- **20.** Comparison of Post-Operative Outcomes of Large Direct Inguinal Hernia Repairs Based on Operative Approach (Open vs. Laparoscopic vs. Robotic) Using the

ACHQC (Abdominal Core Health Quality Collaborative) Database. Surgical Endoscopy. 2023. Varvoglis DN, Sanchez-Casalongue M, Olson MA, et al.

→ **21.** Robotic Surgery in Emergency Colorectal Procedures: Analysis of Outcomes and Future Trends. Journal of the American College of Surgeons. 2025. Ferrari D, Violante T, Novelli M, et al.

→ **22.** Cesena Guidelines: WSES Consensus Statement on Laparoscopic-First Approach to General Surgery Emergencies and Abdominal Trauma. World Journal of Emergency Surgery : WJES. 2023. Sermonesi G, Tian BWCA, Vallicelli C, et al.Guideline

→ **23.** Robotic Surgery in Emergency Setting: 2021 WSES Position Paper. World Journal of Emergency Surgery : WJES. 2022. de'Angelis N, Khan J, Marchegiani F, et al.Guideline

→ **24.** Robot-Assisted Versus Open Surgery in Early-Stage Breast Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. Clinical Breast Cancer. 2025. Elghazaly S, Fakeh S, Elbarbary S, et al.

→ **25.** Comparative Analysis of Oncological and Surgical Outcomes of Robotic Versus Conventional Mastectomy for Breast Cancer. European Journal of Surgical Oncology : The Journal of the European Society of Surgical Oncology and the British Association of Surgical Oncology. 2025. Kuo WL, Huang JJ, Chu CH, et al.

→ **26.** A Randomized Trial of Robotic Mastectomy Versus Open Surgery in Women With Breast Cancer or BrCA Mutation. Annals of Surgery. 2022. Toesca A, Sangalli C, Maisonneuve P, et al.RCT

→ **27.** An initial experience of robot-assisted breast conserving surgery: A multicenter study of the Korea Robot-Endoscopy Minimal Access Breast Surgery Study Group (KoREa-BSG). Journal of Clinical Oncology. 2024. Choi H, Paek S, Lee J, et al.

→ **28.** The First Multicenter Study of Robot-Assisted Breast-Conserving Surgery: Insights From the KoREa-BSG Group. Surgical Endoscopy. 2025. Choi HJ, Paek SH, Lee JH, et al.

→ **29.** Operating Costs, Fiscal Impact, Value Analysis and Guidance for the Routine Use of Robotic Technology in Abdominal Surgical Procedures. Surgical Endoscopy. 2022. Quilici PJ, Wolberg H, McConnell N.

→ **30.** Cost-Effectiveness Evaluation of Laparoscopic Versus Robotic Minimally Invasive Colectomy. Annals of Surgery. 2020. Simianu VV, Gaertner WB, Kuntz K, et al.

→ **31.** National Analysis of Cost Disparities in Robotic-Assisted Versus Laparoscopic Abdominal Operations. Surgery. 2023. Ng AP, Sanaiha Y, Bakhtiyar SS, et al.

→ **32.** Comparative Health Technology Assessment of Robotic-Assisted, Direct Manual Laparoscopic and Open Surgery: A Prospective Study. Surgical Endoscopy. 2017. Turchetti G, Pierotti F, Palla I, et al.

→ **33.** Robotic Gastrointestinal Surgery Compared to Conventional Approaches: An Umbrella Review of Clinical and Economic Outcomes. Journal of Clinical Medicine. 2025. Rho SH, Lee J, Lee JS.

→ **34.** An Appraisal of the Learning Curve in Robotic General Surgery. Surgical Endoscopy. 2017. Pernar LIM, Robertson FC, Tavakkoli A, et al.

→ **35.** The Learning Curve in Robotic Colorectal Surgery Compared With Laparoscopic Colorectal Surgery: A Systematic Review. Colorectal Disease : The Official Journal of the Association of Coloproctology of Great Britain and Ireland. 2021. Flynn J, Larach JT, Kong JCH, et al.SR

→ **36.** Developing a Robotic Colorectal Cancer Surgery Program: Understanding Institutional and Individual Learning Curves. Surgical Endoscopy. 2017. Guend H, Widmar M, Patel S, et al.

→ **37.** Hospital Learning Curves for Robot-Assisted Surgeries: A Population-Based Analysis. Surgical Endoscopy. 2024. Walker RJB, Stukel TA, de Mestral C, et al.

→ **38.** Association of Mentorship and a Formal Robotic Proficiency Skills Curriculum With Subsequent Generations' Learning Curve and Safety for Robotic Pancreaticoduodenectomy. JAMA Surgery. 2020. Rice MK, Hodges JC, Bellon J, et al.

→ **39.** What Do Randomised Trials Reveal About Robotic Surgery? A Critical Appraisal Across Colorectal, Upper Gastrointestinal, Hepato-Pancreaticobiliary, and General Surgical Specialties. Journal of Clinical Medicine. 2025. Geropoulos G, Massias S, Pajaziti Q, et al.

→ **40.** Consensus Statement on Robotic Mastectomy-Expert Panel From International Endoscopic and Robotic Breast Surgery Symposium (IERBS) 2019. Annals of Surgery. 2020. Lai HW, Toesca A, Sarfati B, et al.

5.2. IMPACTO EN RESULTADOS CLÍNICOS EN UROLOGÍA

5.2.1. Prostatectomía radical robótica

La evidencia disponible sobre prostatectomía radical robótica (RARP) es la más madura de toda la cirugía urológica robótica, aunque presenta limitaciones metodológicas relevantes que deben reconocerse. La mayoría de los datos comparativos frente a cirugía abierta proceden de estudios observacionales retrospectivos y registros nacionales, y no de ensayos controlados aleatorizados (ECA). La excepción más relevante es el ensayo LAPPRO, con más de 3.500 pacientes seguidos en 14 centros suecos durante 12 años, que constituye el estudio prospectivo de mayor seguimiento en cirugía urológica robótica y el único que ha demostrado una reducción estadísticamente significativa de la mortalidad específica por cáncer de próstata frente a la cirugía abierta (2,0% vs. 4,5%; HR 0,36; IC95% 0,23–0,55), si bien es cierto que en el propio artículo los autores advierten que la interpretación debe ser cautelosa dado el diseño no aleatorizado del estudio [1].

En la comparación robótica frente a laparoscopia convencional, los ECA disponibles ofrecen una imagen más matizada. El metaanálisis de Haney et al. (*European Urology Focus*, 2023) [2], que analizó de forma exclusiva los 5 ECA disponibles, concluyó que existía un beneficio en cuanto a recuperación precoz de continencia urinaria a favor de RARP frente a LRP, si bien a los 12 meses de seguimiento no existían diferencias significativas en continencia urinaria entre ambas técnicas. En cambio, la recuperación de la función eréctil fue consistentemente superior en el grupo robótico.

Merecen mención especial dos avances técnicos recientes con respaldo en ECA. La prostatectomía con preservación del espacio de Retzius (RS-RARP) ha demostrado en tres ECA una ventaja en recuperación precoz de continencia frente a la técnica estándar. Esta técnica parece segura en estos estudios, con similares tasas de complicaciones, si bien parece que va asociada a un aumento de márgenes quirúrgicos.[3,4]

Por su parte, los estudios en torno a la tecnología NeuroSAFE, que permite un análisis intraoperatorio de los márgenes quirúrgicos durante la preservación neurovascular en RARP, han demostrado una mejoría sig-

nificativa en la función eréctil postoperatoria sin compromiso del control oncológico[5] Estas innovaciones ilustran cómo la plataforma robótica facilita la incorporación de técnicas de preservación funcional difícilmente realizables con otros abordajes, y predicen que la tecnología robótica no tiene de momento techo en cuanto a la incorporación de nuevas técnicas que sigan mejorando los resultados oncológicos y funcionales.

En conjunto, la literatura respalda la RARP como abordaje estándar para el cáncer de próstata localizado en centros con experiencia, con ventajas consistentes frente a la cirugía abierta en variables perioperatorias y funcionales a largo plazo, y con un perfil favorable frente a la laparoscopia en resultados funcionales, aunque con menor diferencia que la comparación frente a cirugía abierta. La evidencia de mayor calidad disponible apoya su consolidación en el SNS, condicionada al volumen del centro y la adecuada formación del equipo.

5.2.2. Cirugía del cáncer renal

La evidencia disponible sobre cirugía renal robótica presenta una marcada heterogeneidad según el procedimiento evaluado. Cabe destacar la importante diferencia entre nefrectomía radical y parcial.

• Nefrectomía parcial:

Para la nefrectomía parcial robótica (RAPN), la base de evidencia es amplia pero fundamentalmente observacional: la revisión sistemática de Chalasani et al. (*Cureus*, 2025), que analizó 30 estudios con más de 26.000 pacientes, incluyó estudios retrospectivos y prospectivos, con escasa presencia de ECA[6]. En este estudio, la RAPN mostró mejoras significativas en recuperación funcional y postquirúrgica manteniendo la calidad oncológica.

La única excepción de alto nivel es el ensayo OpeRa (*Annals of Oncology*, 2025), primer ECA multicéntrico que comparó RAPN con nefrectomía parcial abierta en tumores de complejidad intermedia-alta (RENAL ≥ 7), demostrando resultados oncológicos y de función renal equivalentes, con menor dolor, menor consumo de opioides y mejor calidad de vida hasta el día 30 postoperatorio en el grupo robótico.[7]

Un aspecto diferencial de la cirugía renal robótica, de especial relevancia para el SNS, es su capacidad para ampliar la indicación de cirugía conservadora

de nefronas hacia tumores de mayor complejidad. La RAPN ha demostrado ser viable y oncológicamente segura en tumores cT2 con complejidad alta, escenario en el que la laparoscopia convencional exigía frecuentemente nefrectomía radical o cirugía abierta.[8] Dado que la nefrectomía parcial reduce un 19% la mortalidad por cualquier causa y un 61% el riesgo de enfermedad renal crónica grave frente a la nefrectomía radical, esta extensión de indicación tiene impacto clínico directo sobre la supervivencia global y la función renal a largo plazo del paciente.

En conjunto, la evidencia respalda la RAPN como abordaje de referencia para tumores renales localizados en centros con experiencia, con superioridad perioperatoria frente a la cirugía abierta y perfil comparable frente a la laparoscopia, siendo su mayor valor añadido la extensión de la indicación conservadora a tumores complejos. Se precisan más estudios aleatorizados para consolidar estas conclusiones.

• Nefrectomía radical:

Para la nefrectomía radical robótica, la evidencia es aún más limitada y procede casi exclusivamente de estudios retrospectivos con cohortes emparejadas. Los metaanálisis disponibles muestran que, frente a la laparoscopia convencional, la nefrectomía radical robótica ofrece menor tasa de conversión a cirugía abierta y menor estancia hospitalaria, sin diferencias significativas en tiempo operatorio ni en resultados oncológicos a corto plazo.[9]

No obstante, cabe señalar que los estudios comparativos disponibles incluyen con frecuencia todo tipo de tumores independientemente de su complejidad, lo que puede diluir el beneficio diferencial de la plataforma robótica en los casos técnicamente más exigentes. En este sentido, uno de los avances más relevantes de los últimos años en cirugía renal robótica ha sido la demostración de su viabilidad en nefrectomías de alta complejidad, concretamente en tumores con trombo tumoral en vena renal e incluso en vena cava inferior, escenario que históricamente ha sido considerado patrimonio casi exclusivo de la cirugía abierta. La revisión sistemática y metaanálisis de 2022 en el *Journal of Urology*[10], que incluyó estudios de una década de experiencia acumulada en nefrectomía radical robótica con trombectomía

de vena cava (R-CT), concluyó que el abordaje robótico, en manos experimentadas y con selección adecuada del paciente, es factible y seguro, con menor tasa de transfusión y menor tasa global de complicaciones frente a la cirugía abierta convencional (O-CT), si bien los autores advierten que el sesgo de selección limita la inferencia definitiva de estos resultados. En la misma línea, el metaanálisis de Coco en 2024, centrado específicamente en pacientes con trombo de nivel III-IV, documentó una tasa de complicaciones del 26,5% sin mortalidad intraoperatoria en 298 pacientes, con una estancia media de 9,5 días, confirmando la viabilidad técnica del procedimiento incluso en los trombos de mayor extensión. Estos datos ilustran con claridad el mensaje central de esta sección: la indicación de la cirugía robótica y sus ventajas continúan expandiéndose hacia escenarios de complejidad creciente, trasladando progresivamente los beneficios del abordaje mínimamente invasivo —menor pérdida hemática, menor estancia hospitalaria y recuperación funcional más rápida— a pacientes que hasta hace pocos años solo podían ser tratados mediante cirugía abierta de alta morbilidad.

5.2.3. Cirugía reconstructiva: pieloplastia y estenosis ureteral

El campo de expansión de la cirugía robótica en urología ha sido durante muchos años la cirugía oncológica, pero paulatinamente han ido incorporándose técnicas de cirugía reconstructiva que se han convertido en la primera opción quirúrgica en muchos casos. Cabe destacar en este sentido la pieloplastia, técnica de alta complejidad mediante cirugía laparoscópica, en la que la facilidad de sutura, disección y visión que ofrece la cirugía robótica ha mejorado los resultados funcionales. Pero otras indicaciones que se han incorporado son las lesiones ureterales distales, pero posteriormente las lesiones ureterales medias, con necesidad de utilización de mucosa oral.

La pieloplastia robótica asistida (RALP) para el tratamiento de la obstrucción de la unión ureteropélvica (UPJ) cuenta con una evidencia amplia en volumen, pero de baja calidad metodológica: la mayoría de los estudios son retrospectivos observacionales y la presencia de ECA es prácticamente nula tanto en adultos como en la población pediátrica. A pesar de ello, los

resultados son consistentemente favorables: las tasas de éxito —definido como resolución sintomática y ausencia de obstrucción en renograma diurético— superan el 95% en series de alto volumen, con ventajas frente a la laparoscopia convencional en tiempos operatorios más cortos y frente a la cirugía abierta en menor estancia hospitalaria.[11,12] En la reintervención por pieloplastia fallida, el abordaje robótico facilita la disección en un campo con fibrosis y adherencias, con resultados comparables o superiores a las alternativas laparoscópica y abierta.

Para la reconstrucción ureteral robótica (RUR) en estenosis benignas de uréter medio y distal, la revisión sistemática de Yang et al. (*BMC Urology*, 2023), que incluyó 23 estudios con 996 pacientes y 1.004 unidades ureterales, documentó tasas de éxito superiores al 90% en 15 de los estudios incluidos, con menor sangrado estimado y menor estancia hospitalaria frente a la cirugía abierta, y menor tiempo operatorio frente a la laparoscopia. No se identificó ningún ECA en esta área. [13] El abanico de técnicas disponibles es amplio —reimplantación ureterovesical, colgajo de Boari, ureteroureterostomía, ureteroplicatura con mucosa bucal— y la plataforma robótica facilita su ejecución en espacios pélvicos restringidos, especialmente en pacientes con cirugías o radioterapia previas.

En conjunto, la evidencia respalda la viabilidad y seguridad de la pieloplastia y la reconstrucción ureteral robótica en centros expertos, con tasas de éxito elevadas y consistentes, aunque la ausencia de ECA obliga a interpretar los resultados con cautela y subraya la necesidad de estudios comparativos prospectivos.

5.2.4 Otras indicaciones

linfadenectomía retroperitoneal (R-RPLND)

La linfadenectomía retroperitoneal robótica (R-RPLND) para el cáncer de testículo es una indicación en consolidación progresiva, con evidencia aún limitada pero de calidad creciente. El metaanálisis de Yuan et al. (*Frontiers in Oncology*, 2023), que incluyó ocho estudios con 3.875 pacientes, demostró que la R-RPLND se asocia a menor sangrado intraoperatorio (DM: -436 ml; $p=0,002$), menor tasa de transfusión (OR: 0,06; $p<0,001$), menor tasa global de complicaciones postoperatorias (OR: 0,39; $p=0,002$) y estancia hospitalaria más corta

(DM: -3,74 días; $p<0,001$) frente a la RPLND abierta o laparoscópica, sin diferencias en rendimiento ganglionar ni tasas de recurrencia.[14] La R-RPLND muestra resultados más favorables en los estadios I y IIA (primaria) que en el escenario post-quimioterapia, donde la fibrosis retroperitoneal aumenta la dificultad técnica y la tasa de conversión a cirugía abierta es significativamente mayor.[15] La evidencia disponible se basa casi exclusivamente en estudios retrospectivos y series de centros de referencia, por lo que la selección del paciente adecuado y el volumen del centro son determinantes críticos de los resultados, pero una vez más se ha comprobado como las indicaciones de cirugía robótica siguen expandiéndose a terrenos antes reservados por completo a cirugía abierta, con el consiguiente beneficio para el paciente en pérdida hemática, recuperación funcional y complicaciones.



Cirugía adrenal robótica

La adrenalectomía robótica tiene una posición bien establecida en la literatura, con resultados más homogéneos que otras indicaciones urológicas. Los metaanálisis disponibles muestran de forma consistente menor sangrado, menor estancia hospitalaria y menor tasa de conversión a cirugía abierta frente a la laparoscopia convencional, con resultados perioperatorios comparables o superiores independientemente de la vía de abordaje (transabdominal o retroperitoneal).[16] Su perfil de evidencia es equiparable al de la adrenalectomía laparoscópica convencional en términos de seguridad, con ventajas técnicas en tumores de mayor tamaño, localización difícil o cuando se realiza de forma simultánea con otros procedimientos robóticos abdominales, incluso en indicaciones más límite como el feocromocitoma.



Trasplante renal robótico (RAKT)

El trasplante renal robótico asistido (RAKT) representa la indicación con mayor potencial transformador a medio plazo, especialmente en receptores con obesidad mórbida o acceso vascular dificultado, donde la incisión de Gibson convencional conlleva alta morbilidad de la herida. La revisión sistemática y metaanálisis de O'Connor-Córdova et al. (*Transplant Reviews*, 2023), que incluyó nueve estudios comparativos con 1.477 pacientes, documentó resultados de función del injerto equivalentes entre RAKT y trasplante abierto convencional (OKT), con significativamente menos complicaciones postoperatorias mayores en el grupo robótico, a costa de tiempos de isquemia caliente y total más prolongados.[17] La ausencia de ECA en esta área, la elevada selección de los pacientes —el 89% con donante vivo en las series publicadas— y la concentración de la experiencia en un número muy reducido de centros de excelencia mundial obligan a interpretar estos resultados con cautela. La implantación del RAKT en el SNS requerirá curvas de aprendizaje prolongadas y una centralización estricta en programas de alto volumen trasplantador, pero cabe destacar que existen hospitales en España con gran experiencia en este campo y que están implementando ahora mismo programas de trasplante robótico en otros centros, minimizando el coste en complicaciones y reduciendo la curva de aprendizaje significativamente.

Ureterolisis robótica en fibrosis retroperitoneal

La fibrosis retroperitoneal es una entidad infrecuente pero con alta morbilidad urológica por obstrucción ureteral. La ureterolisis robótica —incluyendo el abordaje de puerto único (SP)— ha demostrado ser una alternativa viable y segura a la cirugía abierta en series prospectivas de centros de referencia, con tasas de ausencia de obstrucción a 12 meses superiores al 80% y baja tasa de complicaciones mayores.[18] La evidencia es aún escasa, basada en series monocéntricas de reducido tamaño muestral, pero el perfil de paciente —frecuentemente con enfermedad sistémica, múltiples comorbilidades y cirugías previas— hace del abordaje mínimamente invasivo robótico una opción especialmente atractiva para reducir la morbilidad quirúrgica. Además, la posibilidad de utilización de verde indocianina (inaccesible en cirugía abierta), mejora la posibilidad de identificación del uréter.

Referencias bibliográficas

- **1.** Lantz A, Li Y, Carlsson S, Stranne J, Angenete E, Akre O, et al. Robotic Versus Open Radical Prostatectomy, Differences in Prostate Cancer-specific Survival—12 Years of Follow-up in the LAParoscopic Prostatectomy Robot Open Trial. *Eur Urol Oncol.* 2025 Dec 1;8(6):1524–32. doi:10.1016/J.EUO.2025.05.004 PubMed PMID: 40413128.
- **2.** Haney CM, Kowalewski KF, Westhoff N, Holze S, Checcuci E, Neuberger M, et al. Robot-assisted Versus Conventional Laparoscopic Radical Prostatectomy: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomised Controlled Trials. *Eur Urol Focus.* 2023 Nov 1;9(6):930–7. doi:10.1016/J.EUF.2023.05.007 PubMed PMID: 37353415.
- **3.** Tai TE, Wu CC, Kang YN, Wu JC. Effects of Retzius sparing on robot-assisted laparoscopic prostatectomy: a systematic review with meta-analysis. *Surgical Endoscopy* 2019 34:9. 2019 Oct 15;34(9):4020–9. doi:10.1007/S00464-019-07190-2 PubMed PMID: 31617093.
- **4.** Phukan C, Mclean A, Nambiar A, Mukherjee A, Somani B, Krishnamoorthy R, et al. Retzius sparing robotic assisted radical prostatectomy vs. conventional robotic assisted radical prostatectomy: a systematic review and meta-analysis. *World Journal of Urology* 2019 38:5. 2019 May 14;38(5):1123–34. doi:10.1007/S00345-019-02798-4 PubMed PMID: 31089802.
- **5.** van der Slot MA, den Bakker MA, Tan TSC, Remmers S, Busstra MB, Gan M, et al. NeuroSAFE in radical prostatectomy increases the rate of nerve-sparing surgery without affecting oncological outcome. *BJU Int.* 2022 Nov 1;130(5):628–36. doi:10.1111/BJU.15771;SUBPAGE:STRING:FULL PubMed PMID: 35536200.
- **6.** Yana “, Sana’ A”. A Systematic Review of Surgical Outcomes: Comparing Robotic-Assisted Partial Nephrectomy and Open Partial Nephrectomy in Nephron-Sparing Surgery for Renal Tumors. 2025. doi:10.7759/cureus.79827
- **7.** Grimm MO, Bedke J, Nyarangi-Dix J, Khoder W, Foller S, Sommerfeld HJ, et al. Open versus robotic-assisted partial nephrectomy in patients with intermediate/high-complexity kidney tumours: final results of the randomised, controlled, open-label, multicentre trial OpeRa. *Annals of Oncology.* 2025 Aug 1;36(8):988–98. doi:10.1016/J.ANNONC.2025.04.005 PubMed PMID: 40250528.
- **8.** Sarkis J, Champy CM, Doumerc N, Bruyere F, Roupêt M, Branger N, et al. Robot-assisted Partial Nephrectomy for Hilar and Nonhilar Renal Masses: Comparison of Perioperative, Oncological, and Functional Results in a Multicentre Prospective Cohort (NEPRAH Study, UroCCR 175). *Eur Urol Oncol.* 2024 Dec 1;7(6):1487–96. doi:10.1016/J.EUO.2024.06.003 PubMed PMID: 38937207.
- **9.** Crocero F, Carbonara U, Cantiello F, Marchioni M, Ditunno P, Mir MC, et al. Robot-assisted Radical Nephrectomy: A Systematic Review and Meta-analysis of Comparative Studies. *Eur Urol.* 2021 Oct 1;80(4):428–39. doi:10.1016/J.EURURO.2020.10.034 PubMed PMID: 33218826.
- **10.** Garg H, Psutka SP, Hakimi AA, Kim HL, Mansour AM, Pruthi DK, et al. A Decade of Robotic-Assisted Radical Nephrectomy with Inferior Vena Cava Thrombectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Perioperative Outcomes. *Journal of Urology.* 2022 Sep 1;208(3):542–60. doi:10.1097/JU.0000000000002829;ISSUE:ISSUE:DOI PubMed PMID: 35762219.
- **11.** Taktak S, Llewellyn O, Aboelsoud M, Hajibandeh S, Hajibandeh S. Robot-assisted laparoscopic pyeloplasty versus laparoscopic pyeloplasty for pelvi-ureteric junction obstruction in the paediatric population: a systematic review and meta-analysis. *Ther Adv Urol.* 2019;11:1–11. doi:10.1177/1756287219835704;CTYPE:STRING:JOURNAL
- **12.** Greenwald D, Mohanty A, Andolfi C, Gundeti MS. Systematic Review and Meta-Analysis of Pediatric Robot-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty. *J Endourol.* 2022 Apr 1;36(4):448–61. doi:10.1089/END.2021.0363;WGROU:STRING:PUBLICATION PubMed PMID: 34806401.
- **13.** Yang K, Pang KH, Fan S, Li X, Osman NI, Chapple CR, et al. Robotic ureteral reconstruction for benign ureteral strictures: a systematic review of surgical techniques, complications and outcomes: Robotic Ureteral Reconstruction for Ureteral Strictures. *BMC Urol.* 2023 Dec 1;23(1):160–. doi:10.1186/S12894-023-01313-7/FIGURES/5 PubMed PMID: 37828505.
- **14.** Yuan Y, Zhang D, Ning Y, Luo H, Qiu X, Tan Y, et al. Clinical efficacy and safety of robotic retroperitoneal lymph node dissection for testicular cancer: a systematic review and meta-analysis. *Front Oncol.* 2023 Dec 19;13:1257528. doi:10.3389/FONC.2023.1257528/TEXT
- **15.** Garg H, Mansour AM, Psutka SP, Kim SP, Porter J, Gaspard CS, et al. Robot-assisted retroperitoneal lymph node dissection: a systematic review of perioperative outcomes. *BJU Int.* 2023 Jul 1;132(1):9–30. doi:10.1111/BJU.15986;WGROU:STRING:PUBLICATION PubMed PMID: 36754376.
- **16.** Gan L, Peng L, Li J, Meng C, Li K, Wu J, et al. Comparison of the effectiveness and safety of robotic-assisted and laparoscopic in adrenalectomy: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery.* 2022 Sep 1;105:106853. doi:10.1016/J.IJSU.2022.106853 PubMed PMID: 36075556.
- **17.** O'Connor-Cordova MA, Ortega-Macias AG, Sancen-Herrera JP, Altamirano-Lamarque F, del Toro AV, del Campo AIM, et al. Living donor robotic-assisted kidney transplant compared to traditional living donor open kidney transplant. Where do we stand now? A systematic review and meta-analysis. *Transplant Rev.* 2023 Dec 1;37(4):100789. doi:10.1016/J.TRRE.2023.100789 PubMed PMID: 37604048.
- **18.** Carletti F, Turcan A, Tamborino F, Morgantini LA, Salvodirocco L, Alkassis M, et al. Single-port robot-assisted ureterolysis for retroperitoneal fibrosis: A less invasive path to functional recovery. *BJU Int Compass.* 2026 May 1;7(5):e70218. doi:10.1002/BCO2.70218.

5.3. IMPACTO EN RESULTADOS CLÍNICOS EN CIRUGÍA TORÁCICA

La cirugía robótica torácica debe analizarse como una herramienta estratégica de transformación de la cirugía mínimamente invasiva, no como una simple alternativa tecnológica a la VATS. Su valor principal no reside en demostrar superioridad universal en todos los desenlaces, sino en permitir que procedimientos anatómicamente complejos puedan realizarse de forma mínimamente invasiva con mayor precisión, estabilidad y reproducibilidad técnica [1,5,6,18–20].

En este sentido, la RATS ocupa un papel cada vez más relevante en la cirugía torácica moderna porque puede contribuir a reducir conversiones a toracotomía, facilitar la disección broncovascular y mediastínica, mejorar la calidad de la linfadenectomía, ampliar el campo de la segmentectomía anatómica compleja y favorecer abordajes mínimamente invasivos en escenarios donde la exposición quirúrgica es difícil [5,6,16–20].

La interpretación debe ser equilibrada. La evidencia disponible no permite afirmar que la RATS sea superior a la VATS en todos los pacientes ni en todos los resultados. Sin embargo, sí respalda que es una plataforma segura, con beneficios perioperatorios y técnicos relevantes en contextos seleccionados, especialmente cuando se integra en programas con volumen, formación estructurada, auditoría de resultados y vías perioperatorias optimizadas [1,3,6,11,18,20].

Evidencia disponible y heterogeneidad de resultados

La evidencia sobre cirugía robótica torácica ha aumentado de forma significativa en los últimos años, sobre todo en lobectomía, segmentectomía y timectomía. No obstante, sigue siendo una literatura heterogénea, con predominio de estudios retrospectivos, bases de datos, cohortes emparejadas mediante propensity score matching y un número todavía limitado de ensayos aleatorizados [1,5–7,18,20].

En resección pulmonar, los ensayos aleatorizados disponibles muestran que la lobectomía robótica es segura y factible, con resultados perioperatorios globalmente comparables a la VATS [1,18]. Los estudios comparativos y metaanálisis sugieren ventajas en variables

concretas, especialmente conversión a toracotomía, pérdida sanguínea y rendimiento ganglionar, pero no demuestran de forma consistente superioridad en complicaciones mayores, mortalidad, recurrencia o supervivencia global [2,5–7,19,20].

Frente a la cirugía abierta, el beneficio de la mínima invasión es más claro. Tanto VATS como RATS se asocian a menor agresión quirúrgica y mejores resultados perioperatorios que la toracotomía en pacientes seleccionados [5]. La cuestión relevante, por tanto, no es si la robótica supera a la cirugía abierta, sino en qué escenarios añade valor frente a una VATS experta.

“La evidencia sobre cirugía robótica torácica ha aumentado de forma significativa en los últimos años, sobre todo en lobectomía, segmentectomía y timectomía”

La heterogeneidad de la evidencia obliga a una lectura prudente. Los resultados dependen de la selección de pacientes, la curva de aprendizaje, el volumen institucional, la experiencia del equipo, el tipo de resección, la definición de complicaciones y la plataforma utilizada [6,7,18,20]. Por ello, la RATS no debe presentarse como una tecnología superior de forma universal, sino como una plataforma con valor incremental en escenarios anatómicamente complejos, oncológicamente exigentes o técnicamente difíciles [6,16,17,20].

Resultados perioperatorios y complicaciones

Los resultados perioperatorios son el ámbito donde la RATS ofrece algunos de sus argumentos más sólidos. En resección pulmonar anatómica, la cirugía robótica

se ha asociado a menor conversión a toracotomía y menor pérdida sanguínea frente a VATS en diversos estudios comparativos y metaanálisis [5,6,19,20].

La menor conversión es un punto especialmente relevante. No debe interpretarse solo como un resultado técnico, sino como un desenlace clínicamente significativo: evitar una toracotomía puede preservar los beneficios de la mínima invasión, reducir el traumatismo quirúrgico y facilitar la recuperación en pacientes con reserva funcional limitada o en casos anatómicamente complejos [5,6,19].

En cuanto a complicaciones globales, mortalidad y eventos mayores, la evidencia no demuestra una superioridad sistemática de la RATS frente a VATS [1,6,7,18,20]. La formulación más rigurosa es que la RATS ofrece una seguridad perioperatoria comparable, con ventajas potenciales en conversión, sangrado y calidad técnica de la resección, pero sin una reducción universal de la morbilidad [1,6,18,20].

La estancia hospitalaria puede ser algo menor en algunos análisis, aunque este resultado debe interpretarse con cautela, porque depende no solo de la plataforma quirúrgica, sino también de protocolos ERAS, analgesia multimodal, manejo de drenajes, criterios de alta y cultura institucional [3,11].

Recuperación funcional y resultados centrados en el paciente

En cirugía torácica, los resultados centrados en el paciente son esenciales. La mínima invasión debe evaluarse por su impacto en dolor, calidad de vida, recuperación funcional, reincorporación, preservación respiratoria y experiencia global del paciente, no solo por la técnica empleada.

En el análisis de calidad de vida del ensayo RVlob, la RATS y la VATS mostraron resultados globalmente comparables en dolor y calidad de vida tras lobectomía, con diferencias puntuales en determinados momentos del seguimiento, pero sin una ventaja grande y sostenida de la robótica frente a VATS [3].

El ensayo RAVAl incorporó resultados comunicados por el paciente, utilidad en salud y análisis económico. Sus resultados iniciales sugieren que la lobectomía robótica puede asociarse a puntuaciones de utilidad comparables y puede ser coste-efectiva en determinadas

condiciones, aunque estos datos deben interpretarse dentro del contexto específico del ensayo y de los costes del sistema analizado [4].

La recuperación postoperatoria no depende de la plataforma de forma aislada. Para que una ventaja técnica se traduzca en beneficio clínico, la RATS debe integrarse en una vía perioperatoria completa: ERAS, analgesia multimodal, movilización precoz, retirada temprana de drenajes, fisioterapia respiratoria, optimización preoperatoria y seguimiento estructurado [11].

Resultados oncológicos y calidad de la resección

En cirugía torácica oncológica, el valor de cualquier abordaje debe medirse por criterios de calidad quirúrgica: resección R0, linfadenectomía adecuada, estadificación correcta, recurrencia, supervivencia y preservación funcional cuando sea clínicamente relevante.

En lobectomía por cáncer de pulmón, la RATS muestra resultados oncológicos globalmente comparables a VATS [1,2,5,6]. Algunos estudios describen mayor número de ganglios resecados o mayor rendimiento ganglionar con RATS, incluido el ensayo ROMAN, que no demostró superioridad perioperatoria global de la robótica, pero sí una mejor disección ganglionar [18]. Este hallazgo es relevante para la calidad de la estadificación, aunque no debe traducirse automáticamente en una afirmación de mejor supervivencia [2,6,18,20].

La segmentectomía anatómica ha adquirido un papel creciente en el cáncer de pulmón periférico de pequeño tamaño. Los ensayos JCOG0802/WJOG4607L y CALGB/Alliance 140503 respaldan la resección sublobar en escenarios concretos de enfermedad inicial, pero no demuestran por sí mismos la superioridad de una plataforma quirúrgica determinada [8,9].

En este contexto, la RATS puede tener un valor especial como facilitador técnico de segmentectomías complejas. La visión tridimensional, la magnificación, la estabilidad de cámara y la instrumentación articulada pueden favorecer la disección broncovascular fina, la identificación anatómica y la preservación parenquimatosa en segmentos profundos, planos intersegmentarios múltiples o anatomías vasculares variantes [16,17]. Este valor debe formularse como facilitación técnica y

potencial mejora de reproducibilidad, no como superioridad oncológica demostrada [16,17].

La cirugía mediastínica y tímica constituye otro escenario de especial relevancia. En tumores tímicos seleccionados, la RATS ha mostrado resultados perioperatorios favorables y resultados oncológicos a largo plazo comparables a VATS [12,15]. En miastenia grave, existe una señal publicada de mejores tasas de remisión completa estable con RATS frente a otros abordajes en un metaanálisis en red, aunque la evidencia sigue limitada por la ausencia de grandes ensayos aleatorizados [14].

El mediastino tiene además una importancia técnica singular. En el mediastino alto, el territorio venoso mediastínico, el mediastino posterior y los recesos cardiofrénicos o costofrénicos, la cirugía puede verse limitada por profundidad, espacios estrechos, proximidad a estructuras vasculares y necesidad de disección precisa. En estos escenarios, la RATS puede mejorar la exposición y la maniobrabilidad, favoreciendo procedimientos mínimamente invasivos más reproducibles en programas entrenados [12,15].

En pared torácica, pleura compleja, resecciones extendidas o cirugía tras tratamiento de inducción, la evidencia específica sobre robótica sigue siendo limitada. Su valor potencial es fundamentalmente técnico: facilitar la disección en campos profundos, mejorar la exposición, ampliar la posibilidad de mínima invasión y evitar toracotomías en casos cuidadosamente seleccionados. En estos contextos, la indicación debe ser prudente y nunca debe comprometer la radicalidad oncológica ni la seguridad de la conversión.

Interpretación clínica y magnitud del beneficio

La interpretación clínica de la RATS en cirugía torácica debe partir de una idea central: la robótica es fundamental no porque haya demostrado superioridad universal en todos los desenlaces, sino porque amplía las posibilidades reales de la cirugía mínimamente invasiva en escenarios complejos [5,6,16–20].

La magnitud del beneficio es más evidente frente a toracotomía que frente a VATS. Frente a cirugía abierta, la mínima invasión reduce agresión quirúrgica y favorece la recuperación [5]. Frente a VATS, las diferencias son

más matizadas: menor conversión, menor sangrado, mejor rendimiento ganglionar o mayor facilidad técnica en determinados escenarios, pero sin superioridad consistente en mortalidad, complicaciones mayores, recurrencia o supervivencia [1,2,6,7,18–20].

Por tanto, la expansión de la RATS debe justificarse por valor clínico y organizativo, no por innovación tecnológica aislada. Su uso parece especialmente razonable en segmentectomías complejas, linfadenectomía sistemática exigente, mediastino complejo, timectomía, tumores tímicos seleccionados, anatomía hiliar difícil, pacientes con reserva funcional limitada y situaciones en las que evitar una toracotomía pueda modificar el curso postoperatorio [12,14–17,19].

La plataforma robótica también puede favorecer la estandarización de gestos complejos. Esta idea debe expresarse con prudencia: la RATS no elimina la dependencia de la experiencia quirúrgica, pero puede contribuir a reducir variabilidad técnica y hacer más reproducibles determinados procedimientos cuando se integra en programas con formación estructurada, volumen suficiente y auditoría de resultados [11,15,18].

El coste sigue siendo una limitación relevante. La RATS no es coste-efectiva por definición; puede aproximarse a la eficiencia cuando se acompaña de alto volumen, reducción real de conversiones, menor estancia, menor morbilidad, tiempos quirúrgicos optimizados, menor coste de instrumental y mejora de utilidad en salud [4,13]. Por ello, su expansión debe ir unida a gobernanza, selección de indicaciones, medición de resultados y comparación transparente con VATS y cirugía abierta.

En conjunto, la cirugía robótica torácica debe considerarse una herramienta estratégica para el presente y el futuro de la especialidad. Su papel no es sustituir indiscriminadamente a la VATS, sino permitir que más pacientes puedan beneficiarse de una cirugía anatómica precisa, mínimamente invasiva y reproducible en escenarios donde la complejidad técnica limita la aplicabilidad de otros abordajes.

La RATS aporta valor cuando permite mantener o ampliar con seguridad un abordaje mínimamente invasivo en escenarios de mayor complejidad anatómica, riesgo de conversión o necesidad de disección precisa. Su papel debe entenderse como una herramienta de valor incremental en pacientes, procedimientos y programas seleccionados.

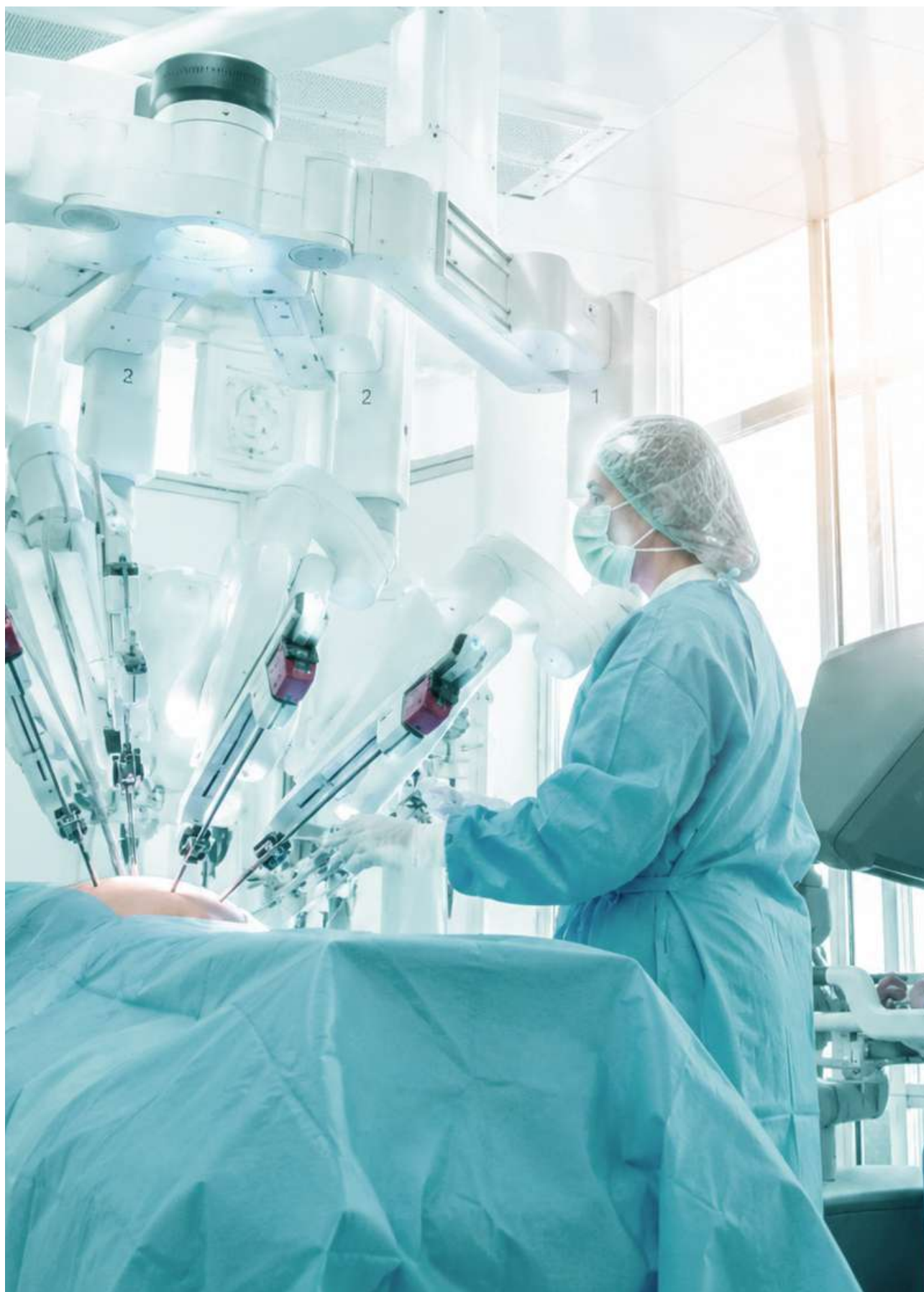
Tabla 2. Beneficios potenciales y contextuales de la RATS en cirugía torácica

Beneficio potencial de la RATS	Formulación ajustada a la evidencia publicada	Dónde tiene más sentido	Cómo debería medirse	Lectura prudente
Conversión a toracotomía [5,6,19]	La RATS se ha asociado en metaanálisis con menor tasa de conversión a cirugía abierta que la VATS en resección pulmonar anatómica por cáncer de pulmón.	Resecciones anatómicas técnicamente exigentes, segmentectomías complejas o situaciones en las que evitar la toracotomía tenga impacto clínico relevante.	Tasa de conversión, causa de conversión, conversión urgente/programada, complicaciones asociadas.	Es uno de los beneficios más defendibles frente a VATS, aunque depende de selección de pacientes, experiencia del equipo y volumen del programa.
Pérdida sanguínea [5,6,20]	La RATS se ha asociado con menor pérdida sanguínea intraoperatoria frente a VATS en algunos metaanálisis, aunque con heterogeneidad entre estudios.	Resecciones anatómicas mayores, disección hiliar compleja o pacientes en los que el sangrado pueda condicionar conversión o morbilidad.	Sangrado estimado, transfusión, lesión vascular, conversión por sangrado.	Beneficio descrito en la literatura, pero no debe presentarse como universal ni independiente de la complejidad del caso.
Papel en la infadenectomía [1,6,18,20]	La RATS puede asociarse a mayor número de ganglios resecados o examinados en algunas series y estudios comparativos.	Cáncer de pulmón resecable, necesidad de estadificación ganglionar precisa, disección N1/N2 sistemática y tumores centrales seleccionados.	Número total de ganglios, número de estaciones, estaciones N1/N2, upstaging patológico.	Este beneficio es relevante para calidad oncológica y estadificación, pero no demuestra por sí mismo mejor supervivencia.
Precisión técnica en la disección [1,6,18,20]	La RATS ofrece ventajas técnicas potenciales -visión tridimensional, estabilidad de cámara e instrumentación articulada- que pueden facilitar disecciones finas; su traducción clínica debe demostrarse mediante resultados objetivos.	Disección broncovascular, linfadenectomía mediastínica, segmentectomía anatómica y cirugía en espacios profundos o estrechos.	Conversión, sangrado, eventos intraoperatorios, márgenes, calidad de linfadenectomía.	Debe formularse como ventaja técnica potencial, no como beneficio clínico automático.
Facilitación técnica en segmentectomía y resecciones pulmonares complejas	La segmentectomía anatómica tiene un papel creciente en cáncer de pulmón periférico inicial, aunque los ensayos que la respaldan no demuestran superioridad de una plataforma concreta. En este contexto, la RATS puede facilitar resecciones anatómicas complejas mediante visión 3D, magnificación, estabilidad de cámara e instrumentación articulada, favoreciendo la disección broncovascular fina, la identificación de planos intersegmentarios y la preservación parenquimatosa.	Segmentectomías complejas, subsegmentectomías, segmentos profundos, planos intersegmentarios múltiples, anatomía vascular variante, pacientes con reserva funcional limitada y resecciones en las que evitar lobectomía pueda tener impacto clínico.	Conversión, sangrado, margen quirúrgico, fuga aérea, necesidad de ampliar la resección, linfadenectomía, función respiratoria postoperatoria, recurrencia local y complicaciones.	Es uno de los escenarios donde la RATS puede tener mayor valor técnico. Sin embargo, debe formularse como facilitación técnica y potencial mejora de reproducibilidad, no como superioridad clínica u oncológica demostrada.

Beneficio potencial de la RATS	Formulación ajustada a la evidencia publicada	Dónde tiene más sentido	Cómo debería medirse	Lectura prudente
Seguridad perioperatoria [1,7,18,20]	La RATS puede considerarse una alternativa segura y factible a la VATS en centros entrenados, con resultados perioperatorios globalmente comparables.	Programas maduros, equipos formados, pacientes seleccionados y auditoría sistemática de resultados.	Complicaciones globales, Clavien-Dindo, neumonía, fibrilación auricular, fuga aérea prolongada, mortalidad 30/90 días.	La seguridad está razonablemente apoyada; la superioridad sistemática frente a VATS en complicaciones mayores o mortalidad no está demostrada.
Recuperación mínimamente invasiva [3,5,11]	Frente a toracotomía, los abordajes mínimamente invasivos se asocian a menor agresión quirúrgica y recuperación más favorable; frente a VATS, la RATS no ha demostrado una ventaja grande y mantenida en dolor o calidad de vida.	Pacientes frágiles, añosos, con función respiratoria limitada o en quienes evitar toracotomía pueda cambiar el curso clínico.	Dolor, consumo de opioides, duración del drenaje, estancia, reingreso, PROs y calidad de vida.	La ventaja es clara frente a cirugía abierta; frente a VATS, las diferencias en recuperación suelen ser pequeñas o inciertas y dependen también de ERAS, analgesia y manejo perioperatorio.
Cirugía mediastínica [12,14,15]	En timectomía y tumores tímicos seleccionados, la RATS puede ofrecer ventajas perioperatorias frente a VATS, con menor sangrado, menor conversión y recuperación favorable en series seleccionadas. En miastenia gravis, un metaanálisis en red sugiere mayor tasa de complete stable remission con RATS frente a otros abordajes. Además, en áreas complejas del mediastino, la visión 3D, la magnificación, la estabilidad de cámara y la instrumentación articulada pueden mejorar la exposición y facilitar la disección precisa.	Timectomía, miastenia gravis seleccionada, tumores tímicos iniciales, mediastino alto, territorio venoso mediastínico, vena innominada, vena cava superior, mediastino posterior y recesos cardiofrénicos o costofrénicos seleccionados.	Conversión, sangrado, complicaciones, estancia, R0, recurrencia, supervivencia, evolución clínica de miastenia, complete stable remission, reducción de medicación y variabilidad entre cirujanos.	En miastenia gravis existe una señal favorable para RATS, pero no procede de grandes ensayos aleatorizados. En tumores tímicos, los resultados oncológicos parecen comparables a VATS, sin superioridad demostrada en supervivencia o recurrencia. La RATS puede favorecer reproducibilidad técnica, pero no elimina la necesidad de experiencia quirúrgica.
Reproducibilidad en programas expertos [1,11,15,18]	La RATS puede contribuir a una cirugía mínimamente invasiva más reproducible en procedimientos complejos, siempre que exista formación estructurada, volumen suficiente y auditoría de resultados.	Centros con programa robótico consolidado, curva de aprendizaje superada, protocolos homogéneos y registro prospectivo de resultados.	Resultados por cirujano, curva de aprendizaje, variabilidad de conversión, complicaciones, tiempos quirúrgicos y calidad de linfadenectomía.	Es un beneficio organizativo plausible, pero debe demostrarse localmente con indicadores de estructura, proceso y resultado; no debe asumirse como beneficio clínico automático.
Potencial valor económico [4,13]	La RATS tiene mayor coste inicial que VATS, pero puede aproximarse a la eficiencia si reduce conversión, estancia, complicaciones, tiempos quirúrgicos o mejora utilidad en salud.	Centros de alto volumen, alta utilización del robot, selección adecuada de casos y reducción real de eventos clínicamente relevantes.	Coste por caso, coste por QALY, tiempo de quirófano, estancia, UCI, reingresos y complicaciones evitadas.	No es coste-efectiva por definición. Su valor económico depende del volumen, del modelo organizativo, de los costes de instrumental y de los resultados reales obtenidos.

Referencias bibliográficas

- **1.** Jin R, et al. Robotic-assisted versus video-assisted thoracoscopic lobectomy: short-term results of a randomized clinical trial (RVlob Trial). *Ann Surg.* 2022.
- **2.** Niu Z, et al. Robotic-assisted versus video-assisted lobectomy for resectable non-small-cell lung cancer: the RVlob randomized controlled trial. *eClinicalMedicine.* 2024.
- **3.** Jin R, et al. Health-related quality of life following robotic-assisted or video-assisted lobectomy in patients with non-small-cell lung cancer: results from the RVlob randomized clinical trial. *Chest.* 2023.
- **4.** Patel YS, et al. Robotic lobectomy is cost-effective and provides comparable health utility scores to video-assisted lobectomy: early results of the RAVAL trial. *Ann Surg.* 2023.
- **5.** Aiolfi A, et al. Pulmonary lobectomy for cancer: systematic review and network meta-analysis comparing open, video-assisted thoracic surgery, and robotic approach. *Surgery.* 2021.
- **6.** Zhang J, et al. Updated evaluation of robotic- and video-assisted thoracoscopic lobectomy or segmentectomy for lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Front Oncol.* 2022.
- **7.** Mirza W, et al. Robotic-assisted vs video-assisted thoracoscopic lobectomy for non-small cell lung cancer: a GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Robot Surg.* 2025.
- **8.** Saji H, et al. Segmentectomy versus lobectomy in small-sized peripheral non-small-cell lung cancer (JCOG0802/WJOG4607L). *Lancet.* 2022.
- **9.** Altorki N, et al. Lobar or sublobar resection for peripheral stage IA non-small-cell lung cancer. *N Engl J Med.* 2023.
- **10.** Alaparthi SS, et al. Quality of robotic segmentectomy vs video-assisted thoracoscopic segmentectomy in non-small cell lung cancer. *Video-Assisted Thoracic Surgery.* 2025.
- **11.** Batchelor TJP, et al. Guidelines for enhanced recovery after lung surgery: recommendations of the ERAS Society and the ESTS. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2019.
- **12.** Zhu LF, et al. Long-term outcomes of robot versus video-assisted thymectomy for thymic epithelial tumors: a propensity matched analysis. *BMC Surg.* 2024.
- **13.** Heiden BT, et al. Cost-effectiveness analysis of robotic-assisted lobectomy for non-small cell lung cancer. *Ann Thorac Surg.* 2022.
- **14.** Zheng Q, Zhou Y, Yuan Y, Chen W, Liang M, Lu Y, Liu X, Shen Y. Which is the best surgical approach for thymectomy: robot-assisted thoracoscopic surgery (RATS), video-assisted thoracoscopic surgery (VATS), thoracotomy (TORA) or subxiphoid video-assisted thoracoscopic surgery (SPT)?—a systematic review and network meta-analysis. *Gland Surg.* 2025;14(5):843-865.
- **15.** Bae SY, Na KJ. Robot-Assisted Versus Video-Assisted Thymectomy: A Narrative Review of Current Evidence. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2026;68(Suppl 1):i1-i7.
- **16.** Fortich S, et al. Complex robotic segmentectomy for early-stage non-small cell lung carcinoma: a narrative review of indications, technique, and outcomes. *Video-Assisted Thoracic Surgery.* 2025.
- **17.** Nakamura D, et al. Complex lung segmentectomy: comparative perioperative outcomes of robotic and video-assisted approaches. *Gen Thorac Cardiovasc Surg.* 2026.
- **18.** Veronesi G, Abbas AES, Muriana P, Lembo R, Bottoni E, Perroni G, et al. Perioperative outcome of robotic approach versus manual videothoracoscopic major resection in patients affected by early lung cancer: results of a randomized multicentric study (ROMAN Study). *Front Oncol.* 2021;11:726408.
- **19.** Herrera LJ, Schumacher LY, Hartwig MG, Bakhos CT, Reddy RM, Vallières E, et al. Pulmonary Open, Robotic, and Thoracoscopic Lobectomy Study: outcomes and risk factors of conversion during minimally invasive lobectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2023;166(1):251-262.e3.
- **20.** Huang S, Huang X, Huang Z, Luo R, Liang W. Comparison of robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery in the treatment of lung cancer: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Front Oncol.* 2023;13:1271709.



5.4. IMPACTO DE LOS RESULTADOS CLINICOS EN GINECOLOGIA

La cirugía robótica en ginecología debe analizarse como una herramienta estratégica de expansión de la cirugía mínimamente invasiva, especialmente en escenarios de elevada complejidad técnica. Su valor principal no reside en demostrar superioridad universal en todos los desenlaces, sino en facilitar la ejecución de procedimientos en pelvis profunda con mayor precisión técnica, estabilidad y reproducibilidad en contextos seleccionados [1,2].

La interpretación debe ser equilibrada. La evidencia disponible respalda que la cirugía robótica es una plataforma segura y eficaz, pero no permite afirmar una superioridad sistemática frente a la laparoscopia convencional en todos los pacientes ni en todas las indicaciones [2,3]. Su papel debe entenderse como valor incremental en escenarios complejos, cuando se integra en programas con experiencia, volumen y formación estructurada [1].

Evidencia disponible y heterogeneidad de resultados

La evidencia sobre cirugía robótica en ginecología presenta heterogeneidad significativa. Predominan los estudios observacionales retrospectivos, metaanálisis basados en cohortes y un número limitado de ensayos controlados aleatorizados [3,4].

En cáncer de endometrio, existen múltiples revisiones sistemáticas y metaanálisis que comparan cirugía robótica con laparoscopia y laparotomía, aunque con variabilidad en los criterios de inclusión, estadios tumorales y características de las pacientes [3,5].

En la estadificación del cáncer de ovario inicial, la evidencia es más limitada y procede fundamentalmente de estudios retrospectivos y metaanálisis con bajo nivel de evidencia, lo que dificulta establecer conclusiones sólidas [6,7].

En endometriosis profunda infiltrante, la literatura se basa principalmente en series de casos y revisiones sistemáticas con limitada comparabilidad entre estudios y elevada dependencia del centro y del equipo quirúrgico [8,9].

En miomectomía, los metaanálisis disponibles incluyen fundamentalmente estudios retrospectivos comparativos con alto grado de heterogeneidad en tamaño tumoral, número de miomas y experiencia del cirujano [10].

En conjunto, la heterogeneidad metodológica, el sesgo de selección y la falta de ensayos aleatorizados condicionan la solidez de la evidencia y obligan a una interpretación prudente de los resultados [4,6].

Resultados perioperatorios y complicaciones

En cáncer de endometrio, la cirugía robótica se asocia de forma consistente con menores tasas de conversión a cirugía abierta y menor pérdida sanguínea en comparación con laparoscopia y laparotomía, aunque con tiempos operatorios más prolongados [3,5].

En la estadificación del cáncer de ovario inicial, los procedimientos mínimamente invasivos, incluyendo la robótica, muestran perfiles de seguridad comparables a la laparotomía, con menor tasa de complicaciones postoperatorias y menor estancia hospitalaria en metaanálisis disponibles [6,7].

En endometriosis compleja, los datos sugieren que la cirugía robótica es factible y segura, con resultados perioperatorios comparables a la laparoscopia, aunque con tiempos quirúrgicos más prolongados en algunas series [9].

En miomectomía, la robótica se asocia con menor sangrado intraoperatorio, menor tasa de transfusión y menor tasa de conversión a cirugía abierta en comparación con laparoscopia, aunque con mayor duración quirúrgica [10].

En conjunto, los resultados perioperatorios muestran una seguridad comparable entre abordajes mínimamente invasivos, con beneficios específicos dependientes del procedimiento y del contexto clínico [3,6,10].

Resultados oncológicos y funcionales

En cáncer de endometrio, los resultados oncológicos de la cirugía robótica son comparables a los de la laparoscopia y la cirugía abierta en términos de supervivencia global, recurrencia y rendimiento ganglionar [3,5].

En la estadificación del cáncer de ovario inicial, los estudios no muestran diferencias significativas en supervivencia libre de enfermedad, supervivencia global o tasas de recurrencia entre cirugía mínimamente invasiva y laparotomía, aunque la evidencia es limitada y basada en estudios no aleatorizados [6,7].

Sin embargo, algunos estudios han señalado posibles riesgos específicos asociados a la cirugía mínimamente

invasiva, como la ruptura capsular intraoperatoria, que podrían tener implicaciones en el pronóstico oncológico en determinados escenarios [7].

En endometriosis profunda, los resultados se centran en control del dolor, fertilidad y calidad de vida, sin demostrarse superioridad consistente de la cirugía robótica frente a la laparoscopia en estos desenlaces [8,9].

En miomectomía, las diferencias en resultados clínicos relevantes, incluyendo fertilidad o resultados reproductivos, no han mostrado un beneficio consistente a favor de la robótica frente a la laparoscopia en la evidencia disponible [10].

Interpretación clínica y magnitud del beneficio

La interpretación clínica de la cirugía robótica en ginecología debe basarse en el concepto de valor incremental. La robótica no ha demostrado una superioridad clínica universal frente a la laparoscopia, pero sí aporta ventajas técnicas relevantes en escenarios seleccionados [1,2].

El beneficio es más evidente frente a la cirugía abierta, mientras que frente a la laparoscopia los resultados son más matizados y dependen principalmente de la complejidad anatómica, la extensión de la enfermedad y la experiencia del equipo quirúrgico [2,3].

Las indicaciones en las que la robótica puede aportar mayor valor en ginecología incluyen:

- cáncer de endometrio, especialmente en pacientes complejas
- estadificación de cáncer de ovario inicial en centros de alto volumen
- endometriosis profunda multicompartimental
- miomectomías complejas con reconstrucción uterina

Su utilización debe integrarse en programas estructurados con volumen, formación y evaluación de resultados. La evidencia actual no respalda una expansión indiscriminada, sino un uso selectivo orientado a escenarios donde la precisión técnica y la reproducibilidad puedan traducirse en beneficio clínico relevante.

Referencias bibliográficas

→ **1.** Park JY, Bak SE, Song JY, Chung YJ, Lee SJ, Kim MR. Robotic surgery in gynecology: the present and the future. *Obstet Gynecol Sci.* 2023;66(6):518–528.

→ **2.** Alkatout I, O'Sullivan O, Peters G, Maass N. Expanding robotic-assisted surgery in gynecology using advanced robotic systems. *Medicina (Kaunas).* 2024;60(1):53.

→ **3.** Robotic-assisted surgery versus conventional laparoscopy in endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Surg Oncol.* 2026.

→ **4.** Kivekäs E, Staff S, Huhtala HSA, et al. Robotic-assisted versus conventional laparoscopic surgery for endometrial cancer: long-term results of a randomized controlled trial. *Am J Obstet Gynecol.* 2025;232(3):304.e1–304.e8.

→ **5.** Zhang Y, et al. Effectiveness of robotic surgery for endometrial cancer: systematic review and meta-analysis. *Arch Gynecol Obstet.* 2021;304:9–21.

→ **6.** Knisely A, Gamble CR, St Clair CM, et al. The role of minimally invasive surgery in the care of women with ovarian cancer: a systematic review and meta-analysis. *J Minim Invasive Gynecol.* 2021;28(3):537–543.

→ **7.** Generali M, Annunziata G, Pirillo D, et al. The role of minimally invasive surgery in epithelial ovarian cancer treatment: a narrative review. *Front Med (Lausanne).* 2023;10:1196496.

→ **8.** Ferrari FA, Youssef Y, Naem A, et al. Robotic surgery for deep-infiltrating endometriosis: is it time to take a step forward? *Front Med (Lausanne).* 2024;11:1387036.

→ **9.** Ong HI, Shulman N, Nugraha P, et al. Role of robot-assisted laparoscopy in deep infiltrating endometriosis with bowel involvement: a systematic review. *Int J Colorectal Dis.* 2024;39:98.

→ **10.** Sheng Y, Hong Z, Wang J, et al. Efficacy and safety of robot-assisted laparoscopic myomectomy versus laparoscopic myomectomy: systematic review and meta-analysis. *World J Surg Oncol.* 2023;21:230

5.5. IMPACTO EN RESULTADOS CLÍNICOS EN CIRUGÍA ORTOPÉDICA Y TRAUMATOLOGÍA

Evidencia disponible y heterogeneidad de resultados

La evaluación científica de la cirugía robótica ha experimentado un crecimiento exponencial durante las dos últimas décadas. Actualmente existe un volumen considerable de publicaciones que incluyen ensayos clínicos aleatorizados, revisiones sistemáticas, metaanálisis, estudios observacionales multicéntricos, registros clínicos y análisis de la práctica real. Sin embargo, la abundancia de literatura no implica necesariamente una homogeneidad en la calidad de la evidencia ni uniformidad en los resultados observados.

Uno de los principales retos para interpretar el impacto clínico de la cirugía robótica es la heterogeneidad existente entre especialidades, procedimientos, tecnologías y variables analizadas. La cirugía robótica no constituye una intervención única, sino un conjunto de plataformas y aplicaciones clínicas con objetivos diferentes. Como consecuencia, los resultados obtenidos en una especialidad no pueden extrapolarse automáticamente a otras áreas quirúrgicas [1,2].

La calidad metodológica de la evidencia disponible también presenta importantes diferencias. Aunque existen ensayos clínicos aleatorizados en procedimientos concretos, una parte significativa del conocimiento actual procede de estudios observacionales, análisis retrospectivos y registros institucionales. Esta circunstancia es relativamente frecuente en cirugía, donde la complejidad técnica, la evolución tecnológica y las dificultades para realizar estudios aleatorizados a gran escala limitan la disponibilidad de evidencia de máxima calidad metodológica [3].

Además, la interpretación de los resultados debe considerar la influencia de factores como la experiencia del cirujano, el volumen quirúrgico, la curva de aprendizaje, la complejidad de los pacientes incluidos, el entorno hospitalario en el que se aplica y la evolución continua de las plataformas robóticas. Muchos estudios comparan tecnologías desarrolladas en momentos distintos de madurez asistencial, lo que puede introducir sesgos difíciles

de controlar. Del mismo modo, la rápida evolución de los sistemas robóticos hace que parte de la evidencia disponible refleje generaciones tecnológicas que ya no representan completamente la práctica actual.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la naturaleza de la evidencia es diferente a la observada en las especialidades basadas en cirugía mínimamente invasiva de consola. Gran parte de los estudios se han centrado inicialmente en variables técnicas y radiológicas antes que en resultados clínicos clásicos [10-12].

En artroplastia de rodilla, múltiples revisiones sistemáticas y metaanálisis han mostrado una reducción consistente de la variabilidad en la alineación y una mayor precisión en el posicionamiento de los componentes protésicos. Sin embargo, la traducción de estas mejoras técnicas en beneficios clínicos claramente demostrables a largo plazo continúa siendo objeto de investigación al compararse con procedimientos exitosos no robóticos. Algunos estudios han descrito una mejor recuperación funcional precoz y un menor dolor postoperatorio, mientras que otros muestran diferencias más discretas cuando se analizan los resultados a medio plazo [10-12].

“La evaluación científica de la cirugía robótica ha experimentado un crecimiento exponencial durante las dos últimas décadas”

En cirugía de columna y en determinados procedimientos de trauma, la evidencia disponible indica mejoras en la precisión de la colocación de implantes y la reducción de la exposición radiológica en escenarios seleccionados [13]. No obstante, la literatura continúa siendo relativamente limitada y heterogénea en comparación con otras áreas de la cirugía robótica, por lo que muchas conclusiones deben interpretarse todavía como evidencia emergente más que como conocimiento definitivamente consolidado.

La creciente disponibilidad de los registros clínicos y los datos de la práctica real está contribuyendo a complementar la información procedente de los ensayos clínicos y los estudios controlados. Este tipo de evidencia resulta especialmente valioso para evaluar los resultados en poblaciones amplias, las condiciones asistenciales reales y los escenarios de elevada complejidad. Sin embargo, también presenta limitaciones relacionadas con sesgos de selección, ausencia de aleatorización y variabilidad en la calidad de los registros.

Desde una perspectiva crítica, uno de los errores más frecuentes consiste en interpretar la cirugía robótica como una tecnología homogénea con beneficios universales. La evidencia disponible sugiere precisamente lo contrario: el impacto clínico depende de la especialidad, del procedimiento, del perfil del paciente, de la experiencia del equipo y del contexto organizativo donde se implanta la tecnología. Por ello, la evaluación debe realizarse siempre considerando el escenario clínico específico y evitando generalizaciones excesivas.

Resultados perioperatorios y complicaciones

Los resultados perioperatorios constituyen uno de los ámbitos donde la cirugía robótica ha mostrado beneficios más consistentes, especialmente cuando se compara con cirugía abierta y cuando se aplica en procedimientos de elevada complejidad técnica. Variables como la pérdida sanguínea, la necesidad transfusional, la tasa de conversión, la estancia hospitalaria, las complicaciones postoperatorias, las reintervenciones y la recuperación inicial permiten valorar de forma objetiva el impacto clínico inmediato de esta tecnología.

No obstante, la interpretación de estos resultados requiere prudencia. La magnitud del beneficio no es homogénea entre especialidades ni entre procedimientos. En muchos estudios, las diferencias observadas dependen de la experiencia del cirujano, el volumen del centro, la curva de aprendizaje, la complejidad de los pacientes incluidos y la integración de protocolos perioperatorios estructurados. Por ello, los resultados perioperatorios deben analizarse siempre en función del contexto clínico y organizativo en el que se aplica la cirugía robótica [1,2].

Uno de los hallazgos más repetidos en la literatura es la reducción de la pérdida sanguínea y de los requerimientos transfusionales. Este beneficio se ha descrito de forma especialmente consistente en cirugía urológica, ginecológica y digestiva, donde la visión tridimensional, la estabilidad de la imagen y la precisión de la disección pueden facilitar un mejor control de los planos anatómicos y de la hemostasia [3-5]. Aunque la relevancia clínica de esta reducción varía según el procedimiento, la disminución de transfusiones tiene impacto potencial sobre seguridad, recuperación y utilización de recursos.

La estancia hospitalaria es otro indicador frecuentemente asociado a mejores resultados perioperatorios en cirugía robótica. En comparación con cirugía abierta, numerosos estudios describen ingresos más cortos, especialmente cuando la tecnología se integra en programas de recuperación intensificada. Sin embargo, cuando la comparación se realiza frente a laparoscopia o toracoscopia avanzada, las diferencias suelen ser menores y más dependientes del tipo de procedimiento, del protocolo de recuperación y de la madurez del centro [6].

La tasa de conversión a cirugía abierta representa un resultado especialmente relevante en escenarios complejos. En cirugía rectal, obesidad, pelvis estrecha, cirugía tras neoadyuvancia o reintervenciones, la robótica puede ayudar a mantener un abordaje mínimamente invasivo cuando la laparoscopia convencional resulta técnicamente exigente. Este posible beneficio tiene implicaciones clínicas y organizativas, ya que la conversión puede asociarse a mayor agresión quirúrgica, recuperación más lenta y aumento de complicaciones en determinados contextos [9].

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la evaluación perioperatoria presenta una lógica distinta. Los beneficios potenciales de la robótica no se relacionan principalmente con la disección intracorpórea o la reducción del sangrado, sino con la precisión biomecánica, el control de ejecución y la reducción de la variabilidad técnica. Por ello, los resultados perioperatorios clásicos deben interpretarse junto a variables específicas como la alineación, el posicionamiento de implantes, el balance ligamentoso, la lesión de las partes blandas y la exactitud de las trayectorias [10-12].

En artroplastia robótica, algunos estudios han descrito una menor lesión iatrogénica de las partes blandas, una mejor precisión en los cortes óseos, un menor dolor postoperatorio temprano y una recuperación funcional inicial más rápida en comparación con las técnicas convencionales [11,12]. Estos hallazgos son clínicamente relevantes porque conectan la precisión intraoperatoria con la recuperación funcional. Sin embargo, la evidencia sobre las diferencias sostenidas a medio y largo plazo sigue siendo más heterogénea, por lo que no debe asumirse una superioridad clínica universal.

En cirugía de columna y en determinados procedimientos de trauma guiado, la navegación robótica puede mejorar la precisión en la colocación de implantes y reducir la exposición fluoroscópica del equipo quirúrgico [13]. Estos resultados tienen implicaciones directas sobre la seguridad perioperatoria. Aun así, la evidencia es más sólida para variables técnicas y radiológicas que para resultados funcionales, complicaciones mayores o supervivencia de implantes a largo plazo.

La interpretación de las complicaciones y de los eventos adversos debe considerar además el efecto de la curva de aprendizaje. En fases iniciales de implantación, pueden aumentar los tiempos operatorios, las incidencias técnicas y la variabilidad del procedimiento. A medida que el equipo adquiere experiencia y se consolidan los circuitos organizativos, estos indicadores tienden a mejorar. Esto confirma que el resultado perioperatorio no depende solo de la plataforma, sino también de la madurez del programa robótico [14].

Desde una perspectiva clínica y organizativa, el valor perioperatorio de la cirugía robótica no debe medirse únicamente por la reducción aislada de una complicación o de un día de estancia. Su interés reside en facilitar procedimientos más consistentes, menos variables y potencialmente menos agresivos en escenarios de complejidad. En COT, esta aportación se expresa de forma particular mediante una ejecución biomecánica más precisa, una menor dispersión técnica y una recuperación funcional inicial potencialmente más estructurada.

Recuperación funcional y resultados centrados en el paciente

La evaluación de los resultados clínicos en cirugía robótica ha evolucionado progresivamente desde los

indicadores tradicionales, como la mortalidad, las complicaciones o la estancia hospitalaria, hacia modelos más centrados en la experiencia y recuperación del paciente. En la actualidad, la valoración de una técnica quirúrgica no depende únicamente de su seguridad o eficacia inmediata, sino también de su capacidad para preservar la función, mejorar la calidad de vida, reducir el dolor y favorecer una reincorporación más rápida a las actividades habituales.

Este cambio de enfoque resulta especialmente relevante en un contexto sanitario orientado hacia la medicina basada en valor, donde los resultados que percibe y experimenta el paciente adquieren una importancia creciente. En este marco, los PROs (Patient-Reported Outcomes) y los PREMs (Patient-Reported Experience Measures) se han incorporado progresivamente como herramientas fundamentales para evaluar el impacto real de las intervenciones quirúrgicas sobre la salud y el bienestar de las personas [1,2].

La recuperación funcional constituye uno de los potenciales beneficios asociados a la cirugía robótica. La combinación de los abordajes mínimamente invasivos, la menor agresión tisular, la reducción del dolor postoperatorio y la recuperación precoz puede favorecer una vuelta más rápida a la actividad cotidiana. Sin embargo, la magnitud de este beneficio varía considerablemente según la especialidad, el procedimiento y las características de los pacientes incluidos en los estudios.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la recuperación funcional constituye probablemente el principal indicador de éxito clínico. A diferencia de otras especialidades, donde la cirugía persigue fundamentalmente la extirpación de una lesión o el tratamiento de una enfermedad, en gran parte de los procedimientos ortopédicos el objetivo final es restaurar la movilidad, la estabilidad, la autonomía y la capacidad funcional. Por este motivo, la evaluación de los resultados centrados en el paciente adquiere una importancia especialmente elevada.

En artroplastia robótica, la recuperación funcional se evalúa habitualmente mediante escalas validadas de dolor, movilidad, función articular y satisfacción del paciente. Diversos estudios han descrito una recuperación más rápida durante las primeras semanas postoperatorias, asociada a una mayor precisión en la ejecución de los cortes óseos, una mejor preservación de partes

blandas y una optimización más precisa del balance articular [10-12]. Aunque estas diferencias tienden a reducirse en algunos estudios a medio plazo, la mejora de la recuperación temprana constituye un resultado clínicamente relevante para muchos pacientes.

La cirugía robótica ortopédica aporta además una característica diferencial respecto a otras áreas quirúrgicas: la posibilidad de relacionar los parámetros técnicos objetivos con los resultados funcionales posteriores. Variables como la alineación, el balance ligamentoso, la estabilidad articular o el posicionamiento de implantes pueden correlacionarse con el dolor, la movilidad y la satisfacción del paciente. Esta conexión entre la precisión biomecánica y la recuperación funcional representa uno de los aspectos más prometedores de la cirugía basada en datos aplicada a COT.

En cirugía de columna, la recuperación funcional se relaciona con el control del dolor, la recuperación neurológica, la capacidad de deambulación y la reincorporación a la actividad habitual. Aunque la evidencia continúa evolucionando, la mejora de la precisión quirúrgica puede contribuir indirectamente a optimizar estos resultados mediante una ejecución más segura y reproducible del procedimiento.

La experiencia del paciente constituye otro componente esencial de los resultados centrados en la persona. La percepción de la seguridad, la calidad de la información recibida, la coordinación asistencial, el control del dolor y la recuperación funcional influyen de forma significativa sobre la valoración global del tratamiento. En este sentido, la cirugía robótica puede aportar ventajas indirectas cuando forma parte de programas asistenciales estructurados, aunque resulta difícil aislar el efecto específico de la tecnología respecto al conjunto del proceso asistencial.

La reincorporación a la actividad cotidiana y laboral representa igualmente una variable de creciente interés. Para muchos pacientes, la rapidez con la que recuperan la independencia funcional, la movilidad y la capacidad para desarrollar actividades habituales constituye un resultado tan relevante como la ausencia de complicaciones. La cirugía robótica puede favorecer esta recuperación en determinados procedimientos, aunque la evidencia disponible sigue mostrando una considerable heterogeneidad entre especialidades y contextos clínicos.

Desde una perspectiva crítica, es importante recordar que las mejoras estadísticas observadas en escalas funcionales o calidad de vida no siempre se traducen en beneficios clínicamente perceptibles para todos los pacientes. La interpretación de los resultados centrados en el paciente debe considerar no solo la significación estadística, sino también la magnitud real del beneficio y su relevancia para la vida cotidiana.

En la práctica clínica, el valor de la cirugía robótica no puede medirse únicamente mediante indicadores técnicos o perioperatorios. Su impacto debe evaluarse también en términos de recuperación funcional, calidad de vida, experiencia del paciente y capacidad para restaurar la autonomía. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, esta dimensión adquiere una relevancia especial, ya que el objetivo final del tratamiento es precisamente recuperar la función, la movilidad y la calidad de vida, convirtiendo al paciente en el principal evaluador del resultado obtenido.

Interpretación clínica y magnitud del beneficio

La valoración del impacto de la cirugía robótica no puede limitarse a determinar si existen diferencias estadísticamente significativas respecto a otras técnicas quirúrgicas. La cuestión verdaderamente relevante desde una perspectiva clínica y sanitaria es establecer si esas diferencias tienen una magnitud suficiente para modificar los resultados importantes para los pacientes, justificar la utilización de recursos adicionales y aportar valor real al proceso asistencial.

Esta distinción entre significación estadística y relevancia clínica resulta especialmente importante en cirugía robótica. El creciente volumen de publicaciones científicas ha permitido identificar numerosas ventajas potenciales en variables técnicas, perioperatorias y funcionales. Sin embargo, no todas las mejoras observadas tienen la misma trascendencia clínica ni generan el mismo impacto sobre la salud del paciente o sobre la eficiencia del sistema sanitario [1,2].

La magnitud del beneficio depende además del escenario clínico analizado. En procedimientos técnicamente sencillos, realizados de forma rutinaria mediante técnicas mínimamente invasivas consolidadas, las diferencias entre la cirugía robótica y otras alternativas pueden ser reducidas. Por el contrario, en situaciones de elevada

complejidad anatómica o técnica, pequeñas mejoras en la visualización, la precisión o el control quirúrgico pueden traducirse en beneficios clínicamente relevantes.

Esta realidad explica por qué la cirugía robótica no debe interpretarse como una tecnología de aplicación universal, sino como una herramienta cuyo valor depende del contexto. La evidencia disponible sugiere que los mayores beneficios suelen concentrarse en procedimientos complejos, pacientes seleccionados y entornos asistenciales con experiencia suficiente para aprovechar plenamente las capacidades de la plataforma [3].

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la interpretación del beneficio requiere un enfoque particular. A diferencia de otras especialidades, donde la cirugía robótica se centra principalmente en mejorar la disección o la reconstrucción intracorpórea, en COT el valor potencial se relaciona fundamentalmente con la precisión biomecánica, la reproducibilidad técnica y la optimización de la planificación quirúrgica. Esto implica que una parte importante de los beneficios esperados puede manifestarse de forma progresiva y no necesariamente durante el periodo perioperatorio inmediato [10-12].

En artroplastia, la mejora en la alineación, el balance ligamentoso y el posicionamiento de implantes constituye uno de los hallazgos más consistentes de la literatura. Sin embargo, la cuestión verdaderamente relevante es determinar en qué medida estas mejoras técnicas se traducen en una mejor función, una mayor satisfacción del paciente, una menor tasa de revisión o una mayor supervivencia protésica. Aunque los resultados iniciales son prometedores, la evidencia disponible todavía continúa evolucionando y requiere seguimientos más prolongados para establecer conclusiones definitivas.

Esta situación ilustra uno de los principales desafíos de la evaluación tecnológica en cirugía: no todas las mejoras técnicas tienen una traducción inmediata en resultados clínicos perceptibles. Algunas pueden manifestarse a medio o largo plazo, mientras que otras pueden aportar beneficios relevantes únicamente en determinados grupos de pacientes o escenarios clínicos específicos.

La selección adecuada de pacientes constituye por ello un elemento central para maximizar el valor clínico de la cirugía robótica. Los beneficios potenciales suelen ser mayores cuando existe una necesidad real de precisión adicional, cuando la complejidad anatómica dificulta otras alternativas o cuando la tecnología permite

mantener un abordaje mínimamente invasivo que de otro modo resultaría difícil de realizar. Por el contrario, la utilización indiscriminada de la robótica en escenarios donde no aporta ventajas diferenciales puede reducir la eficiencia global del sistema sin generar beneficios clínicos significativos.

La interpretación de los resultados también debe considerar la perspectiva del paciente. Determinadas mejoras aparentemente modestas desde un punto de vista estadístico pueden tener una importancia considerable si se traducen en menos dolor, recuperación más rápida, menor dependencia funcional o mejor calidad de vida. Del mismo modo, algunas diferencias técnicas relevantes para el cirujano pueden tener una repercusión limitada sobre la experiencia real del paciente. La evaluación del beneficio debe integrar ambas perspectivas para evitar interpretaciones parciales.

Desde una visión sanitaria más amplia, el concepto de valor adquiere una importancia creciente. Siguiendo el modelo propuesto por Porter, el valor sanitario puede entenderse como la relación entre los resultados obtenidos y los recursos empleados para alcanzarlos [7]. En este contexto, la cirugía robótica debe evaluarse no solo por su capacidad para mejorar determinados resultados clínicos, sino también por su impacto sobre la eficiencia, la utilización de recursos, la sostenibilidad y la organización asistencial. La evidencia disponible sugiere que la cirugía robótica aporta beneficios clínicos reales en determinados procedimientos y contextos de complejidad. Sin embargo, estos beneficios no son uniformes ni universales. La magnitud del impacto depende de la especialidad, del procedimiento, del perfil del paciente, de la experiencia del equipo y de la organización del programa quirúrgico. Esta heterogeneidad obliga a evitar posiciones extremas, tanto de entusiasmo indiscriminado como de escepticismo generalizado.

En la práctica clínica, la principal enseñanza derivada de la evidencia actual es que la cirugía robótica debe considerarse una herramienta de alto valor potencial cuando se utiliza en los escenarios adecuados. Su verdadera aportación no reside en sustituir sistemáticamente a otras técnicas, sino en ofrecer ventajas diferenciales allí donde la complejidad anatómica, la necesidad de precisión o los objetivos funcionales del procedimiento permiten transformar las capacidades tecnológicas en beneficios clínicos relevantes para los pacientes y para el sistema sanitario.

Referencias bibliográficas

- **1.** Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191628. doi: 10.1371/journal.pone.0191628.
- **2.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg*. 2004;239(1):14-21. doi: 10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d.
- **3.** Coughlin GD, Yaxley JW, Chambers SK, Occhipinti S, Samarasinghe H, Zajdlewicz L, Teloken P, Dunglison N, Williams S, Lavin MF, Gardiner RA. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retropubic prostatectomy: 24-month outcomes from a randomised controlled study. *Lancet Oncol*. 2018;19(8):1051-1060. doi: 10.1016/S1470-2045(18)30357-7.
- **4.** Novara G, Ficarra V, Rosen RC, Artibani W, Costello A, Eastham JA, Graefen M, Guazzoni G, Shariat SF, Stolzenburg JU, Van Poppel H, Zattoni F, Montorsi F, Mottrie A, Wilson TG. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol*. 2012;62(3):431-52. doi: 10.1016/j.eururo.2012.05.044.
- **5.** Prete FP, Pezzolla A, Prete F, Testini M, Marzaioli R, Patriiti A, Jimenez-Rodriguez RM, Gurrado A, Strippoli GFM. Robotic Versus Laparoscopic Minimally Invasive Surgery for Rectal Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Ann Surg*. 2018;267(6):1034-1046. doi: 10.1097/SLA.0000000000002523.
- **6.** Ljungqvist O, de Boer HD, Balfour A, Fawcett WJ, Lobo DN, Nelson G, Scott MJ, Wainwright TW, Demartines N. Opportunities and Challenges for the Next Phase of Enhanced Recovery After Surgery: A Review. *JAMA Surg*. 2021;156(8):775-784. doi: 10.1001/jamasurg.2021.0586.
- **7.** Porter ME. What is value in health care? *N Engl J Med*. 2010;363(26):2477-81. doi: 10.1056/NEJMp1011024.
- **8.** Kent M, Wang T, Whyte R, Curran T, Flores R, Gangadharan S, et al. Open, video-assisted thoracic surgery, and robotic lobectomy: review of a national database. *Ann Thorac Surg*. 2014;97(1):236-242. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.07.089.
- **9.** Jayne D, Pigazzi A, Marshall H, Croft J, Corrigan N, Copeland J, Quirke P, West N, Rautio T, Thomassen N, Tilney H, Gudgeon M, Bianchi PP, Edlin R, Hulme C, Brown J. Effect of Robotic-Assisted vs Conventional Laparoscopic Surgery on Risk of Conversion to Open Laparotomy Among Patients Undergoing Resection for Rectal Cancer: The ROLARR Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2017;318(16):1569-1580. doi: 10.1001/jama.2017.7219.
- **10.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdom A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(22):1984-1992. doi: 10.2106/JBJS.17.01397.
- **11.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J*. 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
- **12.** Ruangsomboon P, Ruangsomboon O, Pornrattanamaneewong C, Narkbunnam R, Chareancholvanich K. Clinical and radiological outcomes of robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Acta Orthop*. 2023;94:60-79. doi: 10.2340/17453674.2023.9411.
- **13.** Joseph JR, Smith BW, Liu X, Park P. Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature. *Neurosurg Focus*. 2017;42(5):E2. doi: 10.3171/2017.2.FOCUS16544.
- **14.** Kassite I, Bejan-Angoulvant T, Lardy H, Binet A. A systematic review of the learning curve in robotic surgery: range and heterogeneity. *Surg Endosc*. 2019;33(2):353-365. doi: 10.1007/s00464-018-6473-9.

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

VI. Escenarios de mayor valor clínico: selección de pacientes e indicaciones prioritarias

- 6.1 Contextos clínicos y procedimientos de mayor impacto
- 6.2 Pacientes con mayor probabilidad de beneficio
- 6.3 Criterios prácticos de indicación quirúrgica
- 6.4 Escenarios de beneficio limitado o sin valor añadido
- 6.5 Priorización estratégica y aplicación en el SNS



Escenarios de mayor
valor clínico: selección de
pacientes e indicaciones
prioritarias

VI.

Escenarios de mayor valor clínico: selección de pacientes e indicaciones prioritarias

La incorporación de la cirugía robótica al sistema sanitario o ha superado progresivamente la fase inicial centrada en la innovación tecnológica para situarse en un escenario donde la principal pregunta ya no es si la tecnología funciona, sino en qué pacientes, procedimientos y contextos clínicos genera un valor diferencial real. La creciente disponibilidad de evidencia científica ha puesto de manifiesto que los beneficios de la cirugía robótica no son homogéneos entre especialidades ni entre indicaciones, lo que obliga a realizar una selección rigurosa de los escenarios donde su utilización puede aportar ventajas clínicas relevantes [1,2].

La experiencia acumulada durante las dos últimas décadas demuestra que la cirugía robótica no debe considerarse una alternativa universal aplicable a cualquier procedimiento quirúrgico. Su valor depende de múltiples factores, entre ellos la complejidad anatómica, la necesidad de precisión técnica, la dificultad para mantener abordajes mínimamente invasivos mediante otras técnicas, las características del paciente y la experiencia del equipo quirúrgico. Como consecuencia, los mayores beneficios suelen concentrarse en situaciones clínicas seleccionadas donde las capacidades tecnológicas de la plataforma permiten resolver limitaciones relevantes de la cirugía convencional o de la laparoscopia avanzada [3,4].

La identificación de estos escenarios resulta especialmente importante en sistemas sanitarios públicos como el Sistema Nacional de Salud, donde la incorporación de tecnologías debe orientarse hacia la obtención del máximo beneficio clínico posible dentro de un marco de utilización eficiente de los recursos disponibles. Desde esta perspectiva, la selección adecuada de pacientes constituye un elemento central tanto para la calidad asistencial como para la sostenibilidad organizativa de los programas de cirugía robótica [5].

Las diferencias entre especialidades son particularmente relevantes. Estas diferencias obligan a adaptar los criterios de indicación a los objetivos específicos de cada procedimiento y especialidad [8-13].

El propósito de este capítulo es analizar los escenarios clínicos donde la cirugía robótica ha demostrado aportar un mayor valor diferencial, definir los perfiles de pacientes con mayor probabilidad de beneficio y establecer criterios prácticos que permitan orientar la

toma de decisiones clínicas y organizativas. Este enfoque pretende facilitar una utilización racional de la tecnología, basada en la evidencia disponible, la experiencia acumulada y las necesidades reales de los pacientes atendidos en el Sistema Nacional de Salud.

6.1. CONTEXTOS CLÍNICOS Y PROCEDIMIENTOS DE MAYOR IMPACTO

La cirugía robótica no aporta el mismo valor en todos los procedimientos quirúrgicos. La evidencia disponible y la experiencia acumulada en los distintos programas asistenciales sugieren que sus beneficios son más consistentes cuando se aplica en escenarios caracterizados por una elevada complejidad técnica, anatomías difíciles, necesidad de preservación funcional o procedimientos donde la precisión quirúrgica condiciona directamente los resultados clínicos. Por este motivo, la selección adecuada de las indicaciones constituye uno de los principales determinantes del valor clínico de la tecnología [1,2].

Desde una perspectiva práctica, los procedimientos con mayor potencial de beneficio comparten varias características comunes: espacios anatómicos reducidos, proximidad a estructuras neurovasculares relevantes, necesidad de reconstrucción compleja, dificultad para mantener abordajes mínimamente invasivos mediante otras técnicas o elevada exigencia en términos de precisión quirúrgica. En estos contextos, las capacidades específicas de la robótica pueden traducirse en una mejora de la ejecución técnica, una reducción de la variabilidad y una mayor reproducibilidad de los resultados.

En cirugía urológica, la prostatectomía radical representa el paradigma de procedimiento donde la cirugía robótica ha alcanzado un elevado grado de consolidación. La profundidad anatómica de la pelvis, la necesidad de preservar estructuras neurovasculares y la complejidad de la reconstrucción favorecen la utilización de plataformas robóticas. Del mismo modo, determinados procedimientos renales complejos, especialmente la nefrectomía parcial, constituyen indicaciones donde la precisión técnica puede aportar ventajas relevantes [3,4].

En cirugía digestiva, el mayor valor suele observarse en procedimientos técnicamente exigentes. La cirugía del recto continúa siendo uno de los escenarios más estudiados debido a las dificultades anatómicas de la pelvis y a la necesidad de preservar estructuras funcionales. Asimismo, determinadas resecciones esofagogástricas, pancreáticas y hepatobiliares pueden beneficiarse de las capacidades de disección y reconstrucción que proporciona la cirugía robótica, especialmente cuando se realizan mediante abordajes mínimamente invasivos [5,6].

En cirugía torácica, la cirugía robótica ha demostrado especial interés en resecciones pulmonares anatómicas y procedimientos mediastínicos complejos. La combinación de visión tridimensional, estabilidad de la imagen y libertad de movimiento de los instrumentos facilita la disección de estructuras vasculares y bronquiales en espacios anatómicos reducidos, permitiendo mantener abordajes mínimamente invasivos en situaciones de elevada complejidad técnica [7].

En ginecología, los escenarios de mayor valor suelen encontrarse en cirugía oncológica compleja, pacientes con obesidad, antecedentes de cirugía abdominal múltiple o procedimientos reconstructivos avanzados. En estos contextos, la plataforma robótica puede contribuir a mejorar la accesibilidad quirúrgica y reducir la dificultad técnica asociada a determinadas condiciones anatómicas y clínicas [8].

En Cirugía Ortopédica y Traumatología (COT), el concepto de beneficio clínico presenta características propias. La robótica no persigue principalmente optimizar la disección anatómica, sino aumentar la precisión biomecánica y la reproducibilidad de la ejecución quirúrgica. Por ello, los procedimientos de mayor impacto son

“El propósito de este capítulo es analizar los escenarios clínicos donde la cirugía robótica ha demostrado aportar un mayor valor diferencial”

aquellos en los que pequeñas desviaciones en la planificación o en la colocación de implantes pueden condicionar significativamente los resultados funcionales posteriores.

La artroplastia total de rodilla constituye actualmente el campo con mayor grado de desarrollo y evidencia científica. La capacidad para planificar la intervención de forma individualizada, optimizar la alineación, controlar el balance ligamentoso y reproducir con precisión la estrategia quirúrgica convierte a este procedimiento en uno de los principales escenarios de valor para la cirugía robótica ortopédica. Estas ventajas adquieren especial relevancia en pacientes con deformidades complejas o anatomías que dificultan la ejecución convencional del procedimiento [9–10].

La artroplastia total de cadera representa también un ámbito de expansión de la robótica ortopédica. En este procedimiento, el valor potencial de la tecnología se relaciona con la planificación tridimensional, la orientación precisa del componente acetabular, la restauración del offset, el control de la longitud de la extremidad y la reducción de la variabilidad técnica. Estas aplicaciones pueden resultar especialmente relevantes en pacientes con displasia, deformidades femoroacetabulares, cirugía previa, alteraciones anatómicas complejas o situaciones en las que la restauración precisa de la biomecánica de la cadera condiciona la estabilidad, la función y la satisfacción postoperatoria [11].

La cirugía de columna representa otro ámbito de especial interés. La colocación precisa de tornillos pediculares y otros implantes vertebrales resulta crítica para la seguridad y eficacia del procedimiento. En casos de deformidad, revisiones quirúrgicas, cirugía multisegmentaria o anatomías complejas, la navegación y asistencia robótica pueden contribuir a mejorar la precisión de la instrumentación y reducir la variabilidad técnica [13].

Asimismo, determinadas aplicaciones en trauma ortopédico muestran un potencial creciente. La colocación percutánea de implantes en pelvis, acetábulo o columna requiere trayectorias precisas y presenta márgenes de error reducidos. En estos procedimientos, la integración de la planificación tridimensional y la asistencia robótica puede facilitar una ejecución más segura y reproducible, aunque la evidencia disponible continúa siendo más limitada que en artroplastia o cirugía de columna.

Los procedimientos que más se benefician de la cirugía robótica no son necesariamente los más frecuentes, sino aquellos donde la complejidad técnica genera un riesgo elevado de variabilidad quirúrgica. La tecnología aporta mayor valor cuando permite mejorar la precisión, preservar la función o mantener abordajes mínimamente invasivos que resultarían difíciles de reproducir mediante otras técnicas. Por el contrario, en procedimientos sencillos, altamente estandarizados o con excelentes resultados obtenidos mediante cirugía convencional o laparoscópica avanzada, el beneficio adicional de la robótica puede ser limitado y debe analizarse de forma individualizada.

En la práctica clínica, la cirugía robótica alcanza su mayor valor en procedimientos complejos donde la precisión técnica condiciona directamente los resultados. En COT, este beneficio se concentra especialmente en la artroplastia, la cirugía de columna y en determinadas aplicaciones de trauma guiado, donde la exactitud biomecánica constituye un elemento fundamental del éxito quirúrgico.

6.2. PACIENTES CON MAYOR PROBABILIDAD DE BENEFICIO

La identificación de los procedimientos con mayor potencial de valor constituye únicamente una parte del proceso de selección. Incluso dentro de una misma indicación quirúrgica, el beneficio asociado a la cirugía robótica puede variar de forma considerable en función de las características clínicas del paciente. Por este motivo, la selección adecuada de candidatos representa uno de los principales determinantes de la efectividad, la eficiencia y la sostenibilidad de los programas de cirugía robótica.

La evidencia disponible sugiere que los mayores beneficios suelen observarse en pacientes que presentan una complejidad anatómica o clínica superior a la media. En estos casos, las capacidades específicas de la plataforma robótica pueden contribuir a superar limitaciones técnicas que dificultan la cirugía convencional o los abordajes mínimamente invasivos tradicionales. Por el contrario, en pacientes con anatomías favorables, baja complejidad quirúrgica o procedimientos altamente estandarizados, el valor añadido de la robótica puede ser más limitado y no siempre justificar el incremento de recursos asociado a su utilización [1,2].

Uno de los perfiles que con mayor frecuencia se ha asociado a beneficios potenciales es el paciente con obesidad. La obesidad incrementa la dificultad técnica de numerosos procedimientos quirúrgicos debido a la reducción de los espacios de trabajo, la mayor profundidad anatómica y las limitaciones de la movilidad de los instrumentos convencionales. Diversos estudios han sugerido que las ventajas ergonómicas y técnicas de la cirugía robótica pueden resultar especialmente útiles en estos pacientes, facilitando la realización de procedimientos complejos por vía mínimamente invasiva [3].

La complejidad anatómica constituye otro factor relevante. Pacientes con pelvis estrecha, deformidades anatómicas, antecedentes de múltiples intervenciones previas, fibrosis secundaria a tratamientos anteriores o alteraciones anatómicas congénitas pueden representar escenarios donde la precisión y la capacidad de adaptación de la cirugía robótica adquieren un valor diferencial. En estos casos, la tecnología no elimina la dificultad, pero puede proporcionar mejores condiciones técnicas para afrontarla.

La fragilidad constituye igualmente un elemento de creciente interés. Aunque la evidencia disponible continúa evolucionando, algunos estudios sugieren que los pacientes frágiles podrían beneficiarse especialmente de estrategias que reduzcan la agresión quirúrgica y favorezcan una recuperación más rápida. Sin embargo, la fragilidad no debe interpretarse como una indicación automática de la cirugía robótica. La selección debe realizarse de forma individualizada, considerando tanto el beneficio potencial como los riesgos inherentes al procedimiento y las características globales del paciente [4].

En cirugía urológica, los pacientes con anatomías pélvicas complejas, obesidad significativa o necesidad de preservación funcional especialmente exigente pueden obtener un beneficio diferencial. La proximidad de estructuras neurovasculares críticas y la complejidad de determinadas reconstrucciones favorecen la utilización de plataformas que permitan maximizar la precisión de la disección y la reconstrucción [5].

En cirugía digestiva, los pacientes con obesidad, pelvis estrecha, tumores localmente avanzados, cirugía previa o necesidad de reconstrucciones complejas constituyen algunos de los perfiles donde la cirugía ro-

bótica puede aportar un mayor valor. Estas características suelen incrementar la dificultad técnica y pueden condicionar la posibilidad de mantener un abordaje mínimamente invasivo mediante otras técnicas [6].

En cirugía torácica, los pacientes con anatomías complejas, adherencias pleurales, obesidad o procedimientos técnicamente exigentes pueden beneficiarse de las capacidades de visualización y maniobrabilidad de la plataforma robótica. No obstante, la selección debe considerar también factores relacionados con función respiratoria, comorbilidad y objetivos clínicos específicos del procedimiento [7].

En ginecología, la obesidad constituye probablemente uno de los perfiles clínicos donde más frecuentemente se ha descrito un potencial beneficio diferencial. Asimismo, pacientes con antecedentes de cirugía abdominal múltiple, patología oncológica compleja o procedimientos reconstructivos avanzados pueden representar escenarios favorables para la utilización de cirugía robótica [8].

En Cirugía Ortopédica y Traumatología (COT), la selección de pacientes responde a criterios parcialmente diferentes. La indicación no depende tanto de la necesidad de disección compleja como de la importancia que tiene la precisión biomecánica para el resultado final. Por este motivo, los pacientes que potencialmente pueden beneficiarse más de la cirugía robótica son aquellos en los que pequeñas variaciones en la alineación, el posicionamiento de implantes o la ejecución técnica pueden tener una repercusión significativa sobre la función y la supervivencia del procedimiento.

En la artroplastia total de rodilla, la cirugía robótica puede ser especialmente útil en pacientes con deformidades graves, alteraciones anatómicas complejas, secuelas traumáticas o en aquellos casos en los que una restauración biomecánica precisa resulta decisiva. En estas situaciones, la planificación individualizada y la ejecución exacta de la estrategia quirúrgica pueden reducir la variabilidad técnica y mejorar los resultados funcionales [9-10].

En la artroplastia total de cadera, los pacientes con displasia del desarrollo de la cadera, deformidades femoroacetabulares, secuelas traumáticas, cirugía previa o discrepancias significativas en la longitud de las extremidades pueden constituir perfiles especialmente

adecuados para la utilización de cirugía robótica. En estos casos, la planificación tridimensional y la asistencia durante la implantación pueden contribuir a optimizar la orientación de los componentes, restaurar con mayor precisión la biomecánica articular y reducir la variabilidad técnica del procedimiento. Aunque la evidencia clínica continúa evolucionando, estos beneficios potenciales pueden resultar particularmente relevantes en pacientes donde pequeñas desviaciones en la reconstrucción anatómica condicionan la función, la estabilidad y la satisfacción postoperatoria [11].

En la cirugía de columna, los potenciales beneficiarios incluyen pacientes con deformidades complejas, revisiones quirúrgicas, cirugía multinivel o anatomías que dificultan la colocación precisa de implantes. La asistencia robótica puede aportar una ventaja especialmente relevante cuando la precisión de la instrumentación constituye un factor crítico para la seguridad y eficacia del procedimiento [12].

Asimismo, determinados pacientes con fracturas complejas de pelvis, acetábulo o columna pueden beneficiarse de sistemas de planificación y navegación asistida que permitan optimizar trayectorias y mejorar la precisión de la fijación percutánea. Aunque estas aplicaciones continúan evolucionando, representan una de las áreas de mayor interés para el desarrollo futuro de la robótica en COT.

La identificación de pacientes candidatos no debe realizarse únicamente en función de criterios técnicos. La expectativa funcional, la calidad de vida esperada, la situación basal del paciente, sus preferencias y los objetivos terapéuticos también forman parte del proceso de decisión. La selección adecuada exige integrar variables clínicas, anatómicas, funcionales y organizativas para determinar dónde la tecnología puede generar un beneficio real y medible.

En la práctica clínica, los pacientes con una mayor probabilidad de beneficio son aquellos que combinan los procedimientos complejos con factores anatómicos o clínicos que incrementan la dificultad quirúrgica. En COT, este perfil suele corresponder a pacientes con deformidades, anatomías complejas o elevada exigencia biomecánica, donde la precisión de la planificación y de la ejecución puede influir de forma directa en los resultados funcionales posteriores.

6.3. CRITERIOS PRÁCTICOS DE INDICACIÓN QUIRÚRGICA

La identificación de los procedimientos y de los pacientes potencialmente beneficiarios constituye un paso necesario, pero no suficiente, para una utilización adecuada de la cirugía robótica. La toma de decisiones en la práctica clínica requiere además criterios operativos que permitan integrar la evidencia científica, las características individuales del paciente, la complejidad del procedimiento y la experiencia real del equipo quirúrgico. Desde esta perspectiva, la indicación de la cirugía robótica debe entenderse como un proceso estructurado de selección clínica y organizativa, más que como una decisión basada exclusivamente en la disponibilidad tecnológica.



Uno de los principios fundamentales es que la cirugía robótica no constituye una indicación en sí misma. La indicación corresponde al procedimiento quirúrgico y a la necesidad clínica del paciente. La elección de la plataforma debe realizarse posteriormente, valorando si aporta ventajas objetivas respecto a otras alternativas disponibles. Este enfoque evita el riesgo de adaptar las indicaciones a la tecnología en lugar de adaptar la tecnología a las necesidades del paciente.

La decisión debe sustentarse en tres dimensiones complementarias. La primera corresponde a los factores relacionados con el procedimiento, incluyendo complejidad anatómica, necesidad de precisión técnica, dificultad para mantener un abordaje mínimamente invasivo o relevancia de la preservación funcional. La

segunda incluye las características del paciente, como obesidad, anatomías complejas, cirugía previa, comorbilidades o expectativas funcionales. La tercera se refiere al contexto organizativo, incluyendo la experiencia del equipo, el volumen asistencial, la disponibilidad de recursos y la madurez del programa robótico [1,2,14].

Desde un punto de vista práctico, la indicación resulta más sólida cuando coinciden simultáneamente estos tres elementos: un procedimiento donde la robótica ha demostrado utilidad, un paciente con probabilidad razonable de beneficiarse de sus ventajas y un equipo con experiencia suficiente para utilizar la tecnología de forma segura y eficiente. Cuando alguno de estos componentes no está presente, el valor añadido de la cirugía robótica puede disminuir significativamente.



En cirugía urológica, la indicación suele apoyarse en procedimientos donde la precisión de la disección y la reconstrucción condicionan los resultados funcionales y oncológicos. La prostatectomía radical y determinadas cirugías renales complejas constituyen ejemplos donde la evidencia y la experiencia clínica respaldan de forma consistente la utilización de la plataforma robótica. Sin embargo, incluso en estos procedimientos, la decisión debe individualizarse según las características del paciente y la experiencia del centro.

En cirugía digestiva, la indicación suele concentrarse en procedimientos complejos, particularmente cuando la anatomía dificulta la laparoscopia convencional o cuando la preservación funcional adquiere especial importancia. La cirugía rectal, determinadas resecciones esofagogástricas y algunos procedimientos hepatobiliopancreáticos representan escenarios donde la decisión puede inclinarse hacia la cirugía robótica cuando existe experiencia adecuada y una expectativa razonable de beneficio clínico.

En cirugía torácica, la selección suele orientarse hacia resecciones pulmonares anatómicas, procedimientos mediastínicos complejos o situaciones donde la dificultad técnica puede limitar otras estrategias mínimamente invasivas. La indicación debe considerar simultáneamente factores anatómicos, función respiratoria, comorbilidad y experiencia específica del equipo.

En ginecología, la indicación robótica suele resultar especialmente atractiva en cirugía oncológica compleja, pacientes con obesidad significativa, antecedentes de cirugía abdominal múltiple o procedimientos reconstructivos avanzados. En estos contextos, la tecnología puede facilitar la ejecución técnica y contribuir a mantener abordajes mínimamente invasivos que de otro modo podrían resultar más difíciles de realizar.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología (COT), la indicación presenta características diferenciales. La decisión no depende principalmente de la complejidad de la disección anatómica, sino de la importancia que tiene la precisión biomecánica para el resultado final. Por ello, la cirugía robótica suele estar especialmente indicada cuando el procedimiento exige un elevado grado de exactitud en la planificación, alineación, posicionamiento de implantes o control de trayectorias.

“En la práctica clínica,
la indicación de
la cirugía robótica
no debe basarse
únicamente en la
disponibilidad
de la tecnología”

En la artroplastia total de rodilla, los criterios prácticos de indicación pueden incluir deformidades complejas, alteraciones anatómicas significativas, secuelas traumáticas, cirugías previas o situaciones donde la restauración precisa de la biomecánica resulta especialmente importante. Asimismo, la experiencia acumulada sugiere que los beneficios potenciales aumentan cuando la plataforma se integra dentro de programas consolidados y protocolos estandarizados de planificación y ejecución quirúrgica [3–5].

En la cirugía de columna, la indicación puede resultar particularmente útil en deformidades complejas, cirugía multinivel, revisiones quirúrgicas o procedimientos donde la precisión de la instrumentación constituye un elemento crítico para la seguridad y eficacia. Del mismo modo, determinados procedimientos de trauma guiado pueden beneficiarse de la planificación tridimensional y de la navegación asistida cuando la complejidad anatómica incrementa el riesgo de error técnico.

La experiencia del centro constituye un criterio frecuentemente infravalorado. La evidencia disponible demuestra que los resultados de la cirugía robótica están estrechamente relacionados con la curva de aprendizaje y con la consolidación organizativa de los programas asistenciales. Una indicación adecuada en un centro con amplia experiencia puede no generar el mismo beneficio en un entorno con bajo volumen o con un programa todavía en fase inicial. Por ello, la indicación debe interpretarse siempre dentro del contexto asistencial donde se realiza el procedimiento [6].

Desde una perspectiva operativa, la toma de decisiones puede simplificarse mediante una pregunta fundamental: ¿existe una probabilidad razonable de que la cirugía robótica aporte un beneficio clínico relevante respecto a las alternativas disponibles para este paciente concreto y en este centro concreto? Cuando la respuesta es afirmativa y está respaldada por la evidencia, la experiencia y los recursos adecuados, la indicación resulta coherente. Cuando la respuesta es incierta, la decisión debe reevaluarse de forma crítica.

En la práctica clínica, la indicación de la cirugía robótica no debe basarse únicamente en la disponibilidad de la tecnología, sino en la convergencia entre la complejidad del procedimiento, el perfil del paciente y la experiencia del equipo. En COT, este enfoque se traduce en priorizar aquellos casos donde la precisión biomecánica y la reproducibilidad técnica pueden influir de forma significativa en los resultados funcionales y en la durabilidad del tratamiento.

Un elemento frecuentemente subestimado es la indicación negativa: definir explícitamente qué no debe realizarse con la plataforma robótica en un momento dado del programa. Sin este límite, la expansión de indicaciones puede responder más a la disponibilidad de la tecnología que a criterios clínicos. El marco IDEAL para la evaluación de innovaciones quirúrgicas proporciona una referencia estructurada para gestionar este proceso de forma progresiva y con rendición de cuentas [16].

6.4 ESCENARIOS DE BENEFICIO LIMITADO O SIN VALOR AÑADIDO

La identificación de los escenarios donde la cirugía robótica aporta valor constituye únicamente una parte del proceso de toma de decisiones. Una evaluación rigurosa exige también reconocer aquellas situaciones donde la utilización de la plataforma no proporciona ventajas clínicas relevantes o donde los beneficios potenciales son insuficientes para justificar el incremento de la complejidad organizativa, los recursos o los costes asociados a su utilización. Esta perspectiva resulta especialmente importante en los sistemas sanitarios públicos, donde la eficiencia constituye un componente inseparable de la calidad asistencial.

Uno de los errores más frecuentes en la evaluación de las tecnologías sanitarias consiste en asumir que una herramienta capaz de generar beneficios en determinados contextos debe aplicarse de forma generalizada. La evidencia disponible no respalda esta interpretación en el caso de la cirugía robótica. Al contrario, numerosos estudios sugieren que la magnitud del beneficio depende en gran medida de la complejidad del procedimiento, de las características del paciente y de la experiencia del equipo quirúrgico. Cuando estos factores no están presentes, las diferencias respecto a otras técnicas pueden ser mínimas o inexistentes [1,2].

En términos generales, los procedimientos de baja complejidad técnica representan uno de los principales escenarios donde el valor añadido de la cirugía robótica puede resultar limitado. Cuando la cirugía convencional o la laparoscopia avanzada ofrecen resultados excelentes, baja tasa de complicaciones, elevada reproducibilidad y una curva de aprendizaje consolidada, la incorporación de una plataforma robótica no necesariamente se traduce en mejoras clínicamente relevantes para el paciente.

Asimismo, la utilización de la cirugía robótica en procedimientos de escasa complejidad realizados de forma ocasional puede generar situaciones de ineficiencia. La necesidad de formación específica, tiempos de preparación, utilización de recursos tecnológicos y costes operativos adicionales debe ponderarse frente al beneficio esperado. La disponibilidad de la tecnología, por sí sola, no constituye una justificación suficiente para su utilización sistemática.

En cirugía urológica, digestiva, torácica y ginecológica, existen procedimientos donde la laparoscopia convencional ha alcanzado un elevado grado de madurez técnica y excelentes resultados clínicos. En estos casos, las diferencias entre ambas técnicas pueden resultar discretas y depender más de la experiencia del equipo que de la tecnología utilizada. La cirugía robótica puede seguir siendo una alternativa válida, pero su utilización debe sustentarse en una expectativa razonable de beneficio adicional y no exclusivamente en preferencias tecnológicas.

La experiencia del equipo constituye otro factor determinante. La evidencia demuestra que durante las fases iniciales de implantación pueden observarse tiempos quirúrgicos más prolongados y una menor eficiencia organizativa. Aunque estas diferencias suelen disminuir

conforme progresa la curva de aprendizaje, la indicación debe adaptarse al grado de madurez del programa [14]. Procedimientos extremadamente complejos pueden no representar la mejor opción durante las fases iniciales de desarrollo de un programa robótico [3].

La existencia de alternativas terapéuticas equivalentes también debe formar parte de la evaluación. Cuando dos técnicas ofrecen resultados clínicos similares, la selección debe considerar factores adicionales como la disponibilidad de recursos, la experiencia local, los costes, la accesibilidad y la organización asistencial. El objetivo no consiste en maximizar el uso de la robótica, sino en maximizar el valor generado para los pacientes y para el sistema sanitario.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología (COT), la identificación de los escenarios con un beneficio limitado presenta un interés particular. Aunque la robótica ha demostrado mejoras consistentes en la precisión técnica y la reducción de la variabilidad en determinados procedimientos, estas ventajas no siempre se traducen en diferencias clínicas relevantes para todos los pacientes. La mejora de los parámetros radiológicos o biomecánicos, por sí sola, no constituye una justificación suficiente si no existe una repercusión significativa sobre la función, la satisfacción, la supervivencia del implante o la calidad de vida.

En artroplastia, por ejemplo, los beneficios potenciales pueden ser más limitados en pacientes con anatomías simples, deformidades mínimas y procedimientos altamente estandarizados realizados por equipos con amplia experiencia en técnicas convencionales. En estos casos, la precisión adicional proporcionada por la robótica puede no generar diferencias clínicamente perceptibles para el paciente. Esto no implica que la tecnología carezca de utilidad, sino que su valor marginal puede ser inferior al observado en escenarios de mayor complejidad.

De forma similar, determinadas aplicaciones emergentes en trauma ortopédico continúan presentando una evidencia limitada. Aunque los resultados iniciales son prometedores en algunos procedimientos, la ausencia de estudios robustos y de un seguimiento prolongado obliga a interpretar estas indicaciones con prudencia. La incorporación de nuevas aplicaciones debe realizarse de forma progresiva y basada en resultados objetivamente evaluables.

En cirugía de columna también existen situaciones donde la complejidad del procedimiento o las características anatómicas no justifican necesariamente el empleo de navegación o asistencia robótica avanzada. Procedimientos sencillos, anatomías favorables y técnicas ampliamente consolidadas pueden no beneficiarse de forma significativa de la incorporación de la tecnología. La decisión debe individualizarse en función de la dificultad real del caso y no únicamente de la disponibilidad de la plataforma.

Otro escenario potencialmente problemático es la utilización de la cirugía robótica por razones fundamentalmente promocionales o competitivas. La presión institucional, las expectativas de los pacientes o la necesidad de justificar inversiones tecnológicas pueden favorecer indicaciones poco selectivas. Sin embargo, la utilización inapropiada de la tecnología puede comprometer la eficiencia global del sistema y dificultar la identificación de los escenarios donde realmente aporta valor.

Desde una perspectiva clínica y organizativa, la ausencia de beneficio no debe interpretarse como un fracaso de la tecnología, sino como una consecuencia lógica de la heterogeneidad de los procedimientos y de los pacientes. La selección adecuada implica reconocer tanto los escenarios donde la robótica aporta ventajas claras como aquellos donde las alternativas convencionales continúan representando la opción más razonable.

La evidencia disponible sobre la adopción de cirugía robótica muestra que una parte relevante de su expansión se ha producido en contextos donde el beneficio clínico no estaba claramente demostrado [17]. Este patrón tiene implicaciones directas para la sostenibilidad económica del sistema y para la credibilidad clínica de los programas robóticos, que se ven cuestionados cuando se asocian a indicaciones inapropiadas o a resultados no auditados.

En la práctica clínica, la cirugía robótica no debe considerarse una solución universal. Su utilización resulta más eficiente cuando se concentra en procedimientos y pacientes donde existe una expectativa razonable de beneficio diferencial. En COT, esto implica priorizar escenarios de elevada exigencia biomecánica o complejidad anatómica y evitar una aplicación indiscriminada en procedimientos sencillos o altamente estandarizados donde la mejora clínica esperada sea limitada o incierta.

6.5. PRIORIZACIÓN ESTRATÉGICA Y APLICACIÓN EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD

La incorporación de la cirugía robótica al Sistema Nacional de Salud (SNS) plantea un reto que trasciende la evaluación estrictamente tecnológica. La cuestión principal no consiste únicamente en determinar si una plataforma es capaz de mejorar determinados resultados clínicos, sino en establecer cómo, dónde y en qué condiciones debe implantarse para maximizar el valor generado para los pacientes y para el sistema sanitario. Desde esta perspectiva, la priorización estratégica constituye un elemento fundamental para garantizar una utilización eficiente, equitativa y sostenible de la cirugía robótica.

La experiencia internacional demuestra que la implantación de tecnologías complejas produce mejores resultados cuando se desarrolla de forma planificada y vinculada a objetivos clínicos concretos. La mera disponibilidad de una plataforma no garantiza mejoras asistenciales. Por el contrario, los beneficios observados dependen en gran medida de factores organizativos como el volumen de actividad, la experiencia de los equipos, la coordinación multidisciplinar, la formación estructurada y la capacidad para monitorizar resultados de forma continua [1,2].

Uno de los principios básicos de priorización debe ser la concentración de la actividad en procedimientos donde exista evidencia razonable de beneficio clínico. La asignación de recursos tecnológicos limitados obliga a seleccionar aquellas indicaciones donde la cirugía robótica puede aportar un mayor impacto sobre los resultados, la calidad asistencial o la eficiencia organizativa. Este enfoque resulta especialmente relevante en sistemas públicos financiados con recursos limitados, donde toda inversión debe justificarse en términos de valor sanitario.

El volumen asistencial constituye un factor crítico. Numerosos estudios han demostrado una relación directa entre volumen quirúrgico, experiencia del equipo y resultados clínicos. Los centros con mayor actividad suelen desarrollar curvas de aprendizaje más rápidas, una mayor estandarización de los procesos y una utilización más eficiente de los recursos disponibles. Como consecuencia, la planificación estratégica debe considerar no solo la distribución geográfica de las plataformas, sino también la concentración de proce-

dimientos complejos en centros con experiencia suficiente para mantener niveles adecuados de calidad y seguridad [3].

La monitorización sistemática de resultados representa otro elemento esencial. La implantación de cirugía robótica debe acompañarse de indicadores clínicos, funcionales, organizativos y económicos que permitan evaluar de forma objetiva el rendimiento del programa. La recogida estructurada de datos facilita identificar áreas de mejora, comparar resultados entre centros y orientar futuras decisiones de inversión o expansión tecnológica. En este contexto, la cirugía robótica ofrece una oportunidad singular para avanzar hacia modelos asistenciales basados en medición continua y evaluación objetiva de resultados.

Las diferencias entre especialidades obligan a desarrollar estrategias de implantación adaptadas a cada contexto clínico. En cirugía urológica, la elevada consolidación de determinados procedimientos, especialmente la prostatectomía radical, ha favorecido una expansión relativamente rápida de los programas robóticos. En estos casos, el volumen de pacientes y la madurez de la evidencia permiten justificar estrategias organizativas más estables y predecibles.

En cirugía digestiva, la situación es más heterogénea. Los procedimientos con mayor complejidad técnica, como la cirugía rectal o determinadas resecciones hepatobiliopancreáticas, suelen concentrar la mayor parte del valor potencial. Esto favorece modelos organizativos basados en centros de referencia y equipos altamente especializados capaces de mantener volúmenes adecuados de actividad.

En cirugía torácica y ginecológica, la planificación estratégica debe considerar tanto el volumen como la complejidad de los procedimientos susceptibles de beneficiarse de la tecnología. La existencia de indicaciones relativamente específicas puede hacer recomendable una implantación progresiva, orientada inicialmente hacia procedimientos donde el beneficio potencial resulte más evidente.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología (COT), la priorización presenta características particulares. A diferencia de otras especialidades donde el principal objetivo consiste en facilitar procedimientos mínimamente invasivos complejos, la robótica ortopédica se orienta

fundamentalmente hacia la precisión biomecánica y la reproducibilidad técnica. Esto implica que los criterios de priorización deben considerar no solo el volumen de actividad, sino también el impacto potencial sobre la función, la supervivencia de los implantes y la reducción de la variabilidad quirúrgica.

La artroplastia total de cadera representa también un ámbito de expansión de la robótica ortopédica. En este caso, el valor potencial se relaciona con la planificación del tamaño y posición de los componentes, la orientación acetabular, la restauración del offset, la longitud de la extremidad y la reducción de la variabilidad técnica. Estas aplicaciones pueden resultar especialmente relevantes en pacientes con displasia, deformidades, cirugía previa o situaciones donde la restauración precisa de la biomecánica de la cadera condiciona la estabilidad y la función postoperatoria [11].

La artroplastia de hombro constituye un campo emergente dentro de la cirugía robótica y la planificación digital. Aunque todavía no dispone del mismo nivel de desarrollo clínico que la rodilla o la cadera, puede adquirir relevancia futura en procedimientos donde la planificación tridimensional, la orientación de los componentes y la restauración anatómica condicionen la función y la supervivencia del implante [12].

La priorización también debe considerar aspectos relacionados con la equidad. La incorporación de las tecnologías avanzadas no debe generar desigualdades injustificadas en el acceso a la atención sanitaria. El desarrollo de redes asistenciales, centros de referencia y mecanismos de derivación adecuados puede contribuir a garantizar que los beneficios potenciales de la cirugía

robótica estén disponibles para los pacientes que realmente pueden beneficiarse de ella, independientemente de su área geográfica de procedencia.

Desde una perspectiva sistémica, la concentración de la cirugía robótica en centros con volumen suficiente no es solo una recomendación de eficiencia: es una condición de seguridad. La relación entre volumen institucional y resultados quirúrgicos está bien documentada en cirugía compleja [18], y la cirugía robótica no es una excepción. La curva de aprendizaje, el mantenimiento de competencias del equipo completo y la capacidad de respuesta ante complicaciones intraoperatorias dependen directamente del volumen sostenido. Un modelo de distribución territorial que garantice acceso equitativo sin fragmentar la actividad por debajo de umbrales mínimos de seguridad requiere planificación explícita, criterios de derivación entre centros y mecanismos de gobernanza a nivel supracentro.

Desde una perspectiva estratégica, el objetivo no debe ser maximizar el número de robots instalados ni el volumen de procedimientos realizados mediante esta tecnología. El objetivo debe consistir en identificar aquellos escenarios donde la cirugía robótica genera un valor diferencial medible y organizar los recursos de forma que ese valor pueda obtenerse de manera eficiente, segura y sostenible. En el Sistema Nacional de Salud, la cirugía robótica debe entenderse como una herramienta estratégica orientada a procedimientos y pacientes donde exista una expectativa razonable de beneficio clínico y organizativo. En COT, esta priorización se concentra actualmente en la artroplastia y la cirugía de columna, áreas donde la precisión biomecánica, la reproducibilidad técnica y la medición objetiva de resultados ofrecen oportunidades especialmente relevantes para mejorar la calidad asistencial y reducir la variabilidad clínica.

Finalmente, la priorización estratégica en el SNS debe incorporar la perspectiva de equidad. La disponibilidad de cirugía robótica no puede depender de la capacidad adquisitiva de cada centro ni de la iniciativa individual de sus profesionales. Una planificación basada en necesidad clínica, distribución territorial racional y resultados medidos y comparables entre centros es la única forma de garantizar que el valor de esta tecnología llegue de manera homogénea a los pacientes que pueden beneficiarse de ella, con independencia del centro donde sean atendidos [19].

“El objetivo debe consistir en identificar aquellos escenarios donde la cirugía robótica genera un valor diferencial”



Tabla 3. Criterios operativos para priorizar la indicación de cirugía robótica según paciente, procedimiento y madurez del programa

Criterio operativo	Cuándo priorizar la robótica	Justificación clínica	Precaución
Complejidad anatómica o técnica	Espacios profundos, reducidos o de difícil acceso	Mejora exposición, maniobrabilidad y precisión	No indicar si compromete una conversión segura
Disección fina de estructuras críticas	Vasos, nervios, bronquios, uréter, plexos o estructuras funcionales	Puede reducir la variabilidad técnica y favorecer la preservación funcional	Requiere experiencia específica del equipo
Sutura o reconstrucción intracorpórea compleja	Anastomosis, reconstrucciones, nefrectomía parcial, procedimientos pélvicos o torácicos complejos	La articulación instrumental puede mejorar la reproducibilidad técnica	Evitar en fase inicial sin supervisión adecuada
Preservación funcional prioritaria	Función respiratoria, urinaria, digestiva, sexual, neurológica o musculoesquelética	La precisión técnica adquiere valor clínico directo	Deben medirse resultados funcionales, no solo variables perioperatorias
Precisión biomecánica y posicionamiento de implantes	Artroplastia de rodilla y cadera, y procedimientos donde la alineación, el balance ligamentoso o la posición del implante condicionan el resultado funcional	La navegación y planificación tridimensional pueden mejorar la reproducibilidad técnica, reducir la variabilidad entre cirujanos y optimizar parámetros biomecánicos asociados a la función y supervivencia del implante	El beneficio depende de una adecuada planificación preoperatoria, experiencia del equipo y correcta selección de pacientes
Alto impacto de evitar cirugía abierta	Pacientes con reserva funcional limitada, comorbilidad significativa o fragilidad	Mantener la mínima invasión puede reducir la agresión quirúrgica y facilitar la recuperación	Valorar cuidadosamente tiempo quirúrgico, posicionamiento y tolerancia anestésica
Procedimiento de baja complejidad	Solo cuando exista una ventaja clara frente al abordaje convencional	En general, bajo valor añadido si los abordajes convencionales ofrecen resultados equivalentes	Riesgo de sobrecoste y utilización ineficiente de recursos
Programa en fase inicial	Casos seleccionados, anatomía favorable y complejidad controlada	Permite consolidar la curva de aprendizaje del equipo con seguridad	Evitar expansión precoz de indicaciones
Programa maduro	Casos complejos con resultados auditados y equipo consolidado	Permite ampliar indicaciones manteniendo estándares de calidad y seguridad	Mantener indicación negativa explícita y revisión periódica de resultados
Potencial valor económico [4,13]	La RATS tiene mayor coste inicial que VATS, pero puede aproximarse a la eficiencia si reduce conversión, estancia, complicaciones, tiempos quirúrgicos o mejora utilidad en salud.	Centros de alto volumen, alta utilización del robot, selección adecuada de casos y reducción real de eventos clínicamente relevantes.	Coste por caso, coste por QALY, tiempo de quirófano, estancia, UCI, reingresos y complicaciones evitadas.

Referencias bibliográficas

- **1.** Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191628. doi: 10.1371/journal.pone.0191628.
- **2.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg*. 2004; 239(1): 14-21. doi: 10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d.
- **3.** Coughlin GD, Yaxley JW, Chambers SK, Occhipinti S, Samaratunga H, Zajdlwicz L, Teloken P, Dunglison N, Williams S, Lavin MF, Gardiner RA. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retropubic prostatectomy: 24-month outcomes from a randomised controlled study. *Lancet Oncol*. 2018;19(8):1051-1060. doi: 10.1016/S1470-2045(18)30357-7.
- **4.** Novara G, Ficarra V, Rosen RC, Artibani W, Costello A, Eastham JA, Graefen M, Guazzoni G, Shariat SF, Stolzenburg JU, Van Poppel H, Zattoni F, Montorsi F, Motttrie A, Wilson TG. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol*. 2012; 62(3):431-52. doi: 10.1016/j.eururo.2012.05.044.
- **5.** Prete FP, Pezzolla A, Prete F, Testini M, Marzaioli R, Patriiti A, Jimenez-Rodriguez RM, Gurrado A, Strippoli GFM. Robotic Versus Laparoscopic Minimally Invasive Surgery for Rectal Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Ann Surg*. 2018;267(6):1034-1046. doi: 10.1097/SLA.0000000000002523.
- **6.** Jayne D, Pigazzi A, Marshall H, Croft J, Corrigan N, Copeland J, Quirke P, West N, Rautio T, Thomassen N, Tilney H, Gudgeon M, Bianchi PP, Edlin R, Hulme C, Brown J. Effect of Robotic-Assisted vs Conventional Laparoscopic Surgery on Risk of Conversion to Open Laparotomy Among Patients Undergoing Resection for Rectal Cancer: The ROLARR Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2017;318(16):1569-1580. doi: 10.1001/jama.2017.7219.
- **7.** Kent M, Wang T, Whyte R, Curran T, Flores R, Gangadharan S. Open, video-assisted thoracic surgery, and robotic lobectomy: review of a national database. *Ann Thorac Surg*. 2014;97(1):236-42; discussion 242-4. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.07.117.
- **8.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdum A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.
- **9.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J*. 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
- **10.** Ruangsomboon P, Ruangsomboon O, Pornrattanamaneewong C, Narkbunnam R, Chareancholvanich K. Clinical and radiological outcomes of robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Acta Orthop*. 2023;94:60-79. doi: 10.2340/17453674.2023.9411.
- **11.** Ron I, Shapira J, Kahana-Rojkind AH, Quesada R, Domb BG. Comparison of Patient-Reported Outcome Measures Between Robotic-Assisted and Manual Total Hip Arthroplasty: A Systematic Review with a Minimum 2-Year Follow-Up. *J Clin Med*. 2025;14(17):6036. doi: 10.3390/jcm14176036.
- **12.** Twomey-Kozak J, Hurley E, Levin J, Anakwenze O, Klifto C. Technological innovations in shoulder replacement: current concepts and the future of robotics in total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2023;32(10):2161-2171. doi: 10.1016/j.jse.2023.04.022.
- **13.** Joseph JR, Smith BW, Liu X, Park P. Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature. *Neurosurg Focus*. 2017;42(5):E2. doi: 10.3171/2017.2.FOCUS16544.
- **14.** Kassite I, Bejan-Angoulvant T, Lardy H, Binet A. A systematic review of the learning curve in robotic surgery: range and heterogeneity. *Surg Endosc*. 2019;33(2):353-365. doi: 10.1007/s00464-018-6473-9.
- **15.** Porter ME. What is value in health care? *N Engl J Med*. 2010;363(26):2477-2481. doi:10.1056/NEJMp1011024.
- **16.** McCulloch P, Altman DG, Campbell WB, et al. No Surgical Innovation Without Evaluation: The IDEAL Recommendations. *Lancet*. 2009;374(9695):1105-1112. doi:10.1016/S0140-6736(09)61116-8.
- **17.** Sheetz KH, Claflin J, Dimick JB. Trends in the Adoption of Robotic Surgery for Common Surgical Procedures. *JAMA Netw Open*. 2020;3(1):e1918911. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.18911.
- **18.** Birkmeyer JD, Siewers AE, Finlayson EVA, et al. Hospital Volume and Surgical Mortality in the United States. *N Engl J Med*. 2002;346(15):1128-1137. doi:10.1056/NEJMSa012337.
- **19.** Kim SP, Boorjian SA, Shah ND, et al. Disparities in access to hospitals with robotic surgery for patients with prostate cancer undergoing radical prostatectomy. *J Urol*. 2013;189(2):514-520. doi:10.1016/j.juro.2012.09.033.

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

VII. Seguridad del paciente y control del proceso

- 7.1** Principios de seguridad y estandarización del proceso
- 7.2** Seguridad perioperatoria y puntos críticos de control
- 7.3** Curva de aprendizaje y competencia profesional
- 7.4** Riesgos específicos y estrategias de mitigación
- 7.5** Cultura de seguridad e impacto en eventos adversos



Seguridad del paciente
y control del proceso

VII.

Seguridad del paciente y control del proceso

La seguridad del paciente constituye uno de los pilares fundamentales de cualquier programa de cirugía robótica y representa un elemento inseparable de la calidad asistencial. Aunque la robótica puede aportar ventajas relacionadas con la precisión técnica, la estabilidad operatoria, la navegación avanzada y la reproducibilidad, también introduce nuevas complejidades tecnológicas, organizativas y humanas que obligan a replantear los mecanismos clásicos de control del proceso quirúrgico. Cabe destacar también, en relación con la estandarización, que las nuevas plataformas de cirugía visceral y cavitaria incorporan la capacidad de monitorizar y registrar los movimientos realizados por el cirujano durante el procedimiento. Las denominadas *Automated Performance Metrics* (APMs) —que incluyen parámetros como el tiempo de consola, las colisiones instrumentales, el número de activaciones del embrague, la trayectoria y velocidad de los instrumentos o el tiempo de campo fuera de visión— permiten obtener una evaluación objetiva y reproducible de la calidad técnica del gesto quirúrgico.[15] Esta información abre posibilidades hasta ahora inaccesibles: comparar el rendimiento de un mismo cirujano a lo largo de su



curva de aprendizaje, establecer referencias con cirujanos más experimentados del mismo u otros centros, e identificar desviaciones técnicas antes de que se traduzcan en incidencias clínicas. Estudios recientes han demostrado que las APMs discriminan de forma fiable entre distintos niveles de experiencia quirúrgica y que su evolución se correlaciona con la mejora objetiva de los resultados perioperatorios. En el ámbito urológico, la prostatectomía radical robótica ha sido uno de los procedimientos pioneros en el desarrollo y validación de herramientas de evaluación objetiva del gesto quirúrgico, incluyendo sistemas de inteligencia artificial capaces de proporcionar retroalimentación automatizada en tiempo real. Este tipo de información, integrada en los programas robóticos de forma sistemática, constituye una palanca de mejora continua directamente vinculada a la seguridad del paciente: a mejor técnica medida, menor variabilidad, menor tasa de complicaciones y mejor resultado funcional.

La cirugía robótica no elimina el riesgo inherente a la práctica quirúrgica. Por el contrario, incorpora factores adicionales relacionados con la dependencia tecnológica, la coordinación multidisciplinar, la curva de aprendizaje, la integración de plataformas digitales y la necesidad de protocolos altamente estructurados. En este contexto, la seguridad no depende exclusivamente de la habilidad individual del cirujano, sino de la capacidad del sistema para integrar personas, tecnología, organización y monitorización dentro de un entorno clínico controlado y evaluable [1,2].

La progresiva complejidad de los procedimientos robóticos ha reforzado la importancia de la estandarización y de la reducción de variabilidad clínica. La preparación del paciente, la planificación quirúrgica, el posicionamiento, el docking, la navegación, la validación intraoperatoria y la recuperación postoperatoria requieren circuitos protocolizados capaces de minimizar errores y mejorar la consistencia del proceso asistencial. Esta necesidad resulta especialmente relevante en programas multidisciplinarios y en hospitales donde varias especialidades comparten plataformas robóticas y recursos tecnológicos.

La seguridad en la cirugía robótica debe entenderse además como un proceso dinámico de mejora continua. El registro de incidencias, la monitorización de los resultados, el análisis de los eventos adversos y la evaluación de los indicadores funcionales y organizativos forman parte esencial de los programas robóticos ma-

duros. La capacidad de transformar la actividad quirúrgica en información trazable y medible constituye una de las principales oportunidades de la cirugía basada en datos aplicada a la seguridad clínica [3].

En cirugía digestiva, urológica, ginecológica y torácica, la seguridad se relaciona especialmente con la complejidad técnica de la disección mínimamente invasiva, la coordinación intraoperatoria y la adecuada gestión de riesgos perioperatorios. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la dimensión de seguridad adquiere además un componente biomecánico y tecnológico particularmente relevante. La precisión del registro anatómico, la validación de la navegación, la correcta calibración de los sistemas y la reproducibilidad de la ejecución condicionan directamente la seguridad técnica y la calidad del resultado funcional.

La cirugía robótica en COT introduce escenarios específicos relacionados con la navegación, la integración de la imagen, el control de las trayectorias y la validación intraoperatoria de los parámetros biomecánicos. En procedimientos como la artroplastia, la cirugía de columna o el trauma guiado, las pequeñas desviaciones en la alineación, el balance o el posicionamiento pueden tener consecuencias relevantes sobre la estabilidad, el dolor, el desgaste protésico o la necesidad de la revisión quirúrgica. Por ello, la seguridad no depende únicamente de evitar complicaciones inmediatas, sino también de garantizar precisión técnica y consistencia biomecánica a medio y largo plazo [4-6].

Desde una perspectiva organizativa, la seguridad robótica no debe interpretarse como un conjunto aislado de protocolos o checklists, sino como una cultura asistencial orientada a reducir la variabilidad, mejorar la reproducibilidad y favorecer la detección precoz de errores y desviaciones del proceso. La robótica hace más visible la necesidad de integrar cirugía, anestesia, enfermería, ingeniería clínica, navegación e información intraoperatoria dentro de modelos asistenciales altamente coordinados.

Este capítulo analiza los principales elementos relacionados con la seguridad del paciente y el control del proceso en cirugía robótica, abordando aspectos de estandarización, riesgos perioperatorios, curva de aprendizaje, mitigación de eventos adversos y cultura de seguridad. El objetivo no es únicamente identificar riesgos específicos de la tecnología robótica, sino comprender cómo desarrollar sistemas quirúrgicos más seguros, reproducibles y orientados a resultados clínicos y funcionales.

7.1. PRINCIPIOS DE SEGURIDAD Y ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO

La seguridad del paciente en cirugía robótica depende en gran medida de la capacidad para desarrollar procesos quirúrgicos estructurados, reproducibles y orientados a reducir la variabilidad clínica. Aunque la tecnología robótica puede aportar precisión técnica y estabilidad operatoria, la seguridad no deriva únicamente de la plataforma utilizada, sino de la forma en que esta se integra dentro de un sistema asistencial protocolizado y controlado.

La variabilidad constituye uno de los principales factores que condicionan la calidad quirúrgica. Parte de esta variabilidad es inevitable y responde a diferencias anatómicas, complejidad clínica o necesidad de adaptación intraoperatoria. Sin embargo, otra parte depende de factores potencialmente modificables, como preparación del procedimiento, secuencia técnica, coordinación del equipo, experiencia organizativa o cumplimiento de protocolos. La cirugía robótica, por su elevada dependencia tecnológica y logística, hace especialmente visible la necesidad de reducir esta variabilidad mediante modelos asistenciales estructurados [1,2].

La estandarización del proceso robótico implica definir de forma precisa las diferentes fases del procedimiento: selección del paciente, preparación preoperatoria, posicionamiento, preparación de la plataforma, docking o registro anatómico, ejecución quirúrgica, validación intraoperatoria y recuperación postoperatoria. La protocolización de estas etapas permite disminuir improvisaciones, reducir incidencias técnicas y facilitar la identificación precoz de errores o desviaciones del procedimiento.

En cirugía digestiva, urológica, ginecológica y torácica, la estandarización afecta especialmente a la colocación de trocares, la posición del paciente, la secuencia operatoria, la distribución de roles y la coordinación entre la consola y el campo quirúrgico. La estabilidad de los equipos y la repetición sistemática de los circuitos organizativos constituyen elementos fundamentales para mejorar la seguridad, la eficiencia y la reproducibilidad técnica.

Esta estandarización en cirugía visceral y endocavitaria exige un control estricto sobre tres componentes críticos:

- **Colocación del paciente y prevención de conflictos espaciales:** Para un correcto funcionamiento de la plataforma, se precisa una monitorización del posicionamiento notablemente más exigente que en otros tipos de cirugías. Esto es indispensable tanto para evitar colisiones (entre los brazos robóticos o entre estos y la anatomía del paciente), como para permitir un adecuado acceso al campo quirúrgico. Sin embargo, la optimización del acceso exige en ocasiones decúbitos forzados —como el Trendelenburg extremo en la cirugía pélvica urológica y ginecológica—, condiciones que introducen riesgos fisiológicos sistémicos que comprometen la seguridad ventilatoria y hemodinámica, obligando a una estrecha monitorización anestésica coordinada.
- **Mitigación de la ausencia de retroalimentación háptica:** La falta de sensibilidad táctil o propioceptiva directa de los instrumentos robóticos representa un peligro inherente en la cirugía de tejidos blandos, pudiendo conllevar daño inadvertido a estructuras viscerales o vasculares vecinas. Aunque la literatura describe eventos adversos asociados a esta limitación desde el inicio de la cirugía robótica [12], la curva de aprendizaje y el desarrollo de una “percepción visual avanzada” disminuyen significativamente estas incidencias. Asimismo, las nuevas plataformas tecnológicas están implementando sistemas avanzados de sensorización y retroalimentación de fuerza que, si bien están pendientes de aprobación regulatoria final en Europa, se prevé que estén disponibles en el mercado en los próximos meses.
- **Preparación y ensamblaje de la instrumentación:** Un eslabón crítico en la estandarización es el montaje y verificación de los instrumentos robóticos por parte del personal de enfermería. Un ensamblaje incorrecto o un defecto en el aislamiento eléctrico del instrumental puede provocar incidentes graves intraoperatorios, tales como movimientos inesperados por descalibración o quemaduras por fuga de energía [12]. Por ello, el desarrollo de programas de formación específica y continuada para la enfermería robótica es un pilar crucial y obligatorio para mitigar el riesgo tecnológico en el SNS (Allers et al. Urology 2016).

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la estandarización presenta características diferenciales relaciona-

das con la navegación, la planificación biomecánica y la integración de imagen. En los procedimientos robóticos ortopédicos, la seguridad depende en gran medida de la correcta secuencia de la calibración, el registro anatómico, la validación espacial y la ejecución guiada. La precisión final del procedimiento no está condicionada únicamente por el gesto quirúrgico, sino también por la calidad del flujo tecnológico que conecta la planificación, la navegación y la ejecución intraoperatoria [4-6].

“La principal aportación de la estandarización no es convertir la cirugía en un proceso rígido, sino reducir la variabilidad innecesaria y hacer más reproducibles los procedimientos complejos”

En artroplastia robótica, la reproducibilidad del procedimiento requiere validar de forma sistemática referencias anatómicas, alineación, balance ligamentoso y posicionamiento de los implantes antes de ejecutar cortes definitivos. La posibilidad de verificar parámetros biomecánicos intraoperatorios constituye una de las principales ventajas del entorno robótico, pero también introduce nuevas necesidades de control y supervisión técnica.

En cirugía de columna y determinados procedimientos de trauma, la seguridad del proceso depende igualmente de la correcta integración entre la navegación, la fluoroscopia, el posicionamiento y la validación de trayectorias. Errores de registro anatómico, desplazamientos del sistema de referencia o incidencias de calibración pueden comprometer la precisión y la seguridad del procedimiento, lo que obliga a establecer protocolos estrictos de verificación intraoperatoria.

La utilización de checklists y protocolos de seguridad constituye uno de los elementos más relevantes para reducir la variabilidad y mejorar la fiabilidad organizativa. La adaptación de las recomendaciones de la seguridad quirúrgica al entorno robótico permite incorporar verificaciones específicas relacionadas con la plataforma, el instrumental, la navegación, el posicionamiento y la coordinación del equipo. En programas robóticos maduros, estas listas de comprobación forman parte habitual de la cultura organizativa del bloque quirúrgico [7] [10] [11].

La estandarización no debe interpretarse como una limitación rígida de la autonomía quirúrgica. La cirugía robótica continúa requiriendo una capacidad de adaptación clínica e intraoperatoria. El objetivo de los protocolos no es sustituir el criterio profesional, sino proporcionar un marco de trabajo más seguro, reproducible y evaluable, especialmente en aquellos procedimientos de elevada complejidad tecnológica.

Desde una perspectiva organizativa, la estandarización facilita además la formación, la evaluación de resultados y la mejora continua. Los procedimientos estructurados permiten identificar los puntos críticos, comparar los resultados entre equipos y desarrollar las estrategias de aprendizaje más homogéneas. En sistemas sanitarios complejos, esta capacidad resulta especialmente importante para garantizar la calidad y la sostenibilidad de los programas robóticos.

La seguridad del paciente depende también de factores humanos y culturales. La comunicación entre profesionales, la definición clara de roles, la capacidad para detectar incidencias y la existencia de entornos no punitivos de análisis de errores forman parte esencial del control del proceso. La cirugía robótica no elimina los riesgos asociados al factor humano, pero puede facilitar entornos más monitorizados y trazables cuando existe una adecuada cultura de seguridad.

En la práctica clínica, la principal aportación de la estandarización no es convertir la cirugía en un proceso rígido, sino reducir la variabilidad innecesaria y hacer más reproducibles los procedimientos complejos. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, este principio adquiere especial relevancia debido a la estrecha relación entre la precisión biomecánica, la seguridad técnica y el resultado funcional a largo plazo.

7.2. SEGURIDAD PERIOPERATORIA Y PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL

La seguridad perioperatoria en cirugía robótica depende de la capacidad para identificar los momentos críticos del proceso asistencial y establecer mecanismos específicos de verificación y control en cada una de sus fases. La complejidad tecnológica de estos procedimientos hace que el riesgo no se concentre exclusivamente en el acto quirúrgico, sino que se distribuya a lo largo de todo el circuito asistencial, desde la selección del paciente hasta la recuperación postoperatoria.

La cirugía robótica incorpora elementos diferenciales respecto a la cirugía convencional relacionados con posicionamiento prolongado, dependencia tecnológica, integración de navegación, limitaciones de acceso físico al paciente tras el docking y coordinación simultánea entre múltiples profesionales y sistemas. En este contexto, la seguridad perioperatoria debe entenderse como un proceso continuo de validación clínica, técnica y organizativa [1,2].

La fase preoperatoria constituye uno de los primeros puntos críticos de control. La adecuada selección del paciente, la valoración anestésica, la revisión de comorbilidades, la planificación quirúrgica y la comprobación de disponibilidad tecnológica condicionan de forma directa la seguridad del procedimiento. La ausencia de una planificación estructurada incrementa el riesgo de incidencias intraoperatorias, conversiones, retrasos y una utilización ineficiente de recursos.

En cirugía robótica, el posicionamiento del paciente adquiere una relevancia especialmente importante. Las posiciones extremas mantenidas durante periodos prolongados pueden asociarse a lesiones neurológicas, complicaciones musculoesqueléticas, neuropatías por compresión, lesiones oculares o alteraciones hemodinámicas y respiratorias. Este riesgo resulta particularmente relevante en cirugía pélvica compleja y en procedimientos torácicos prolongados. La correcta protección de los puntos de apoyo y la coordinación entre anestesia, enfermería y cirugía constituyen elementos esenciales de la seguridad perioperatoria.

El docking y la preparación de la plataforma representan otro punto crítico del procedimiento. Una colocación inadecuada del robot, errores de calibración o

conflictos espaciales entre instrumental, mesa quirúrgica y anestesia pueden dificultar la fluidez operatoria e incrementar el riesgo de incidencias técnicas. La protocolización de estas fases permite reducir las colisiones instrumentales, los problemas de acceso y los retrasos intraoperatorios.

Durante la fase intraoperatoria, la seguridad depende en gran medida de la capacidad del equipo para mantener una coordinación constante entre consola, campo quirúrgico y anestesia. La comunicación estructurada adquiere una especial importancia debido a la separación física parcial entre el cirujano principal y el paciente. La detección precoz del sangrado, la pérdida de referencias anatómicas, las incidencias instrumentales o las alteraciones hemodinámicas requiere una vigilancia continua y una clara distribución de responsabilidades.

En cirugía digestiva, urológica, ginecológica y torácica, algunos de los principales puntos críticos incluyen lesiones vasculares, lesiones térmicas inadvertidas, dificultades de exposición anatómica, complicaciones derivadas del neumoperitoneo y la necesidad de conversión quirúrgica. Aunque la robótica puede mejorar la precisión técnica, la complejidad del entorno operatorio obliga a mantener protocolos estrictos de control y respuesta ante incidencias.

En el contexto de la cirugía de consola intracavitaria y visceral, existen puntos críticos de control intraoperatorio (*checkpoints*) esenciales para mitigar los riesgos de complicaciones inadvertidas y garantizar la seguridad del proceso antes de finalizar la intervención:

- **Checkpoint de seguridad instrumental pasiva y cualificación del ayudante:** Dado que los brazos robóticos se mueven en un espacio tridimensional pero el campo visual del cirujano está limitado a la magnificación de la consola, el equipo a pie de mesa debe realizar una verificación continua de los instrumentos que quedan fuera del espectro visual del cirujano para prevenir lesiones por tracción o colisiones inadvertidas. En este sentido, el ayudante debe ser un cirujano formado, dado que la literatura demuestra que parte de los incidentes de seguridad suceden precisamente durante el intercambio dinámico de instrumentos o el movimiento inadvertido de alguno de ellos a pie de campo [13].

“Durante la fase intraoperatoria, la seguridad depende en gran medida de la capacidad del equipo para mantener una coordinación constante entre consola, campo quirúrgico y anestesia”

- **Checkpoint de validación reconstructiva antes del desacoplamiento del robot (*undocking*):** En procedimientos mayores como la prostatectomía radical o la cistectomía radical, es un requisito de seguridad crítico realizar pruebas dinámicas de estanqueidad mediante el llenado retrógrado vesical en quirófano o la revisión directa de la sutura mecánica de los reservorios ileales. Esta verificación sistemática de la integridad de la anastomosis permite detectar fugas biológicas *in situ*, posibilitando una corrección inmediata bajo la excelente visión de la plataforma y evitando fístulas urinarias, urinomas o reintervenciones urgentes en el periodo postoperatorio inmediato.
- **Checkpoint de perfusión microvascular con verde de indocianina (ICG):** En estrecha relación con lo anterior, en aquellas cirugías que conllevan una anastomosis intestinal —esencial en las derivaciones urinarias intracorpóreas tras cistectomía—, la utilización de la angiografía por fluorescencia con verde de indocianina disminuye de forma objetiva la posibilidad de fístulas al garantizar la realización de la anastomosis exclusivamente sobre tejidos viables, estancos y correctamente perfundidos.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, los puntos críticos de control presentan características diferenciales relacionadas con la navegación, la biomecánica y la integración de la imagen pre con la intraoperatoria. La seguridad del procedimiento depende de la correcta validación del registro anatómico, de la estabilidad de las referencias espaciales y de la precisión de la calibración tecnológica. Pequeños errores en estas fases pueden generar desviaciones relevantes en la alineación, las trayectorias o el posicionamiento de implantes [4–6].

En artroplastia robótica, uno de los momentos más sensibles del procedimiento corresponde a la validación anatómica y la biomecánica previa a la ejecución de los cortes. La comprobación intraoperatoria de la

alineación, el balance ligamentoso y la estabilidad articular constituye un checkpoint esencial para garantizar la consistencia técnica y la seguridad funcional. La posibilidad de verificar dinámicamente estos parámetros representa una ventaja relevante de la cirugía robótica, pero también exige una supervisión continua del proceso tecnológico.

En cirugía de columna y procedimientos de trauma guiado, la seguridad depende además de la integración precisa entre navegación, fluoroscopia y referencias anatómicas. Desplazamientos del sistema de referencia, errores de navegación o modificaciones de la anatomía intraoperatoria pueden alterar la precisión de las trayectorias y aumentar el riesgo de lesión neurológica o malposición de implantes. Por este motivo, los sistemas robóticos en COT requieren múltiples verificaciones intraoperatorias y validación continua de la correspondencia anatómica real.

La conversión a cirugía convencional constituye otro elemento importante dentro de la seguridad perioperatoria. La conversión no debe interpretarse como un fracaso tecnológico, sino como una decisión clínica orientada a mantener la seguridad del paciente cuando existen dificultades técnicas, complicaciones o limitaciones del procedimiento robótico. Los programas avanzados incorporan criterios claros de conversión y entrenamiento específico para estas situaciones.

La fase postoperatoria inmediata representa igualmente un periodo crítico de control. La detección precoz del sangrado, las complicaciones respiratorias, las alteraciones neurológicas, el dolor mal controlado o las incidencias derivadas del posicionamiento forma parte esencial del proceso de seguridad. La integración de protocolos ERAS y la recuperación intensificada facilita además una monitorización estructurada y una movilización precoz potencialmente más segura [3].

Desde una perspectiva organizativa, la identificación de checkpoints perioperatorios permite transformar procedimientos complejos en procesos más trazables y evaluables. La utilización de protocolos de verificación, checklists dinámicas y monitorización continua favorece la reducción de la variabilidad y la detección precoz de desviaciones del procedimiento.

La seguridad perioperatoria en cirugía robótica no depende únicamente de la tecnología utilizada, sino de la capacidad del sistema asistencial para anticipar riesgos, validar procesos y mantener mecanismos de control durante todas las fases del procedimiento. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, este principio adquiere una dimensión adicional debido a la estrecha relación entre la precisión biomecánica intraoperatoria, la seguridad técnica y el resultado funcional posterior.

7.3. CURVA DE APRENDIZAJE Y COMPETENCIA PROFESIONAL

La curva de aprendizaje constituye uno de los factores más relevantes en la seguridad y calidad de la cirugía robótica. La incorporación de nuevas plataformas tecnológicas modifica no solo la técnica quirúrgica, sino también la forma de organizar el procedimiento, coordinar equipos, interpretar la información intraoperatoria y gestionar incidencias. En este contexto, la competencia profesional no depende exclusivamente del dominio técnico individual, sino de la integración progresiva entre experiencia quirúrgica, conocimiento tecnológico y madurez organizativa del programa robótico.

La cirugía robótica introduce habilidades específicas que no siempre son extrapolables desde la cirugía abierta o laparoscópica convencional. El control de consola, la percepción tridimensional, la ausencia de feedback táctil directo, la coordinación visual-espacial, la navegación intraoperatoria y la integración de información digital requieren procesos formativos propios y progresivos. La adaptación a estas plataformas implica además una transformación de la dinámica quirúrgica clásica y de la interacción entre cirujano, ayudantes, anestesia y enfermería [1,2].

La literatura demuestra que la curva de aprendizaje influye de forma directa sobre tiempos quirúrgicos, incidencias intraoperatorias, conversiones, complicacio-

nes y eficiencia organizativa. Sin embargo, la duración y complejidad de esta curva presentan una importante heterogeneidad según especialidad, procedimiento, experiencia previa y volumen de actividad. No existe, por tanto, un modelo universal de aprendizaje robótico aplicable de forma homogénea a todas las disciplinas quirúrgicas [3].

En cirugía digestiva, urológica, ginecológica y torácica, la experiencia acumulada ha demostrado que los resultados mejoran progresivamente conforme aumenta el volumen quirúrgico y la estabilidad de los equipos. Procedimientos complejos como la prostatectomía radical, la cirugía rectal o las resecciones torácicas anatómicas muestran una clara relación entre la experiencia del centro y la seguridad clínica. La consolidación de los programas robóticos avanzados requiere habitualmente procesos estructurados de formación, proctorización y evaluación continua [4,5].

Está bien establecido en la literatura que la experiencia en cirugía laparoscópica previa acorta de forma significativa la curva de aprendizaje en cirugía robótica. Sin embargo, la maduración del mercado tecnológico plantea ahora un nuevo escenario regulatorio y de gestión para el SNS: la implementación y convivencia de diferentes plataformas robóticas en un mismo centro. En este sentido, el control del proceso analizado bajo este nuevo paradigma arroja dos conclusiones clave para la planificación sanitaria:

- **Transferibilidad de competencias inter-plataforma:** La experiencia técnica y cognitiva adquirida previamente con una plataforma de consola reduce de forma drástica la curva de aprendizaje al realizar la transición hacia un sistema robótico diferente.
- **Impacto de la protocolización de los procesos:** La estandarización estricta de las fases quirúrgicas y organizativas actúa como un acelerador en la adquisición de las habilidades necesarias para el manejo seguro de los nuevos dispositivos. Esta transferencia y optimización competencial ha sido sólidamente demostrada en entornos multi-plataforma mediante el uso de sistemas modulares, donde los modelos de implantación estructurada garantizan mantener los estándares de seguridad perioperatoria y eficiencia del bloque quirúrgico desde las fases iniciales de su adopción (Fernández Conejo et al.).



Este hallazgo es de especial relevancia para las direcciones médicas del SNS, ya que confirma que la inversión institucional en la capacitación robótica de los profesionales es un activo transferible y sostenible, independiente del proveedor tecnológico final.

La curva de aprendizaje no afecta únicamente al cirujano principal. La eficiencia y seguridad de la cirugía robótica dependen también de la experiencia colectiva del equipo quirúrgico. Enfermería especializada, anestesia, técnicos de soporte y ayudantes quirúrgicos forman parte esencial del rendimiento organizativo del programa. A medida que aumenta la experiencia compartida, suelen reducirse tiempos de preparación, docking, calibración, incidencias técnicas y variabilidad operatoria.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la curva de aprendizaje presenta características diferenciales respecto a la cirugía robótica de consola. Muchas plataformas ortopédicas no se centran en telemanipulación continua, sino en navegación, planificación biomecánica, validación anatómica y ejecución guiada. Esto implica que parte importante del aprendizaje se relaciona con la interpretación 3D en el espacio, la integración de la imagen, la calibración tecnológica y la comprensión biomecánica del procedimiento [6–8].

En artroplastia robótica, el aprendizaje no depende únicamente de realizar cortes o posicionar implantes, sino de comprender la relación entre la planificación preoperatoria, la validación intraoperatoria y el resultado funcional. El cirujano debe desarrollar competencias relacionadas con alineación cinemática, balance ligamentoso, registro anatómico y adaptación dinámica del plan quirúrgico durante la intervención. La seguridad del procedimiento depende en gran medida de la correcta interpretación de estos parámetros y de la capacidad para detectar desviaciones o inconsistencias durante la cirugía.

En cirugía de columna y procedimientos de trauma guiado, la curva de aprendizaje incluye además el dominio de navegación tridimensional, fluoroscopia integrada y control de trayectorias. La dependencia de referencias anatómicas y calibración espacial hace que pequeños errores de interpretación puedan comprometer precisión y seguridad técnica. Por ello, la formación en cirugía robótica ortopédica requiere habitualmente entrenamiento progresivo y validación estructurada de competencias.

La simulación y el entrenamiento virtual han adquirido un papel creciente dentro de los programas formativos robóticos. La posibilidad de practicar secuencias operatorias, resolver incidencias y desarrollar habilidades técnicas en entornos simulados permite reducir parte del aprendizaje inicial sobre pacientes reales. En plataformas ortopédicas, la simulación basada en la imagen y la planificación digital facilita además la comprensión anatómica y la biomecánica de los procedimientos complejos.

La competencia profesional en cirugía robótica no debe interpretarse únicamente como una capacidad técnica individual, sino como un proceso continuo de formación, evaluación y actualización. La rápida evolución tecnológica obliga a mantener programas estables de entrenamiento y reacreditación, especialmente en entornos donde conviven distintas plataformas, sistemas de navegación y modelos organizativos.

Desde una perspectiva de seguridad, el volumen quirúrgico constituye uno de los principales determinantes de la calidad y resultados. Diversos estudios han mostrado una relación consistente entre la experiencia acumulada y la reducción de complicaciones, los tiempos operatorios y la variabilidad clínica [9]. Esta relación resulta especialmente relevante durante las fases iniciales de implantación de programas robóticos y en procedimientos de elevada complejidad técnica.

La formación estructurada y la supervisión progresiva constituyen herramientas esenciales para reducir riesgos asociados a la curva de aprendizaje. Los programas robóticos maduros suelen incorporar sistemas de proctorización, entrenamiento modular, simulación, evaluación de competencias y análisis continuo de resultados. Este enfoque permite transformar el aprendizaje individual en un proceso organizativo orientado a seguridad y mejora continua.

La cirugía robótica no elimina la importancia de la experiencia quirúrgica clásica. Por el contrario, exige integrar los conocimientos anatómicos, el juicio clínico y el dominio tecnológico dentro de un entorno quirúrgico más complejo y altamente monitorizado. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, esta integración adquiere especial relevancia debido a la estrecha relación entre precisión biomecánica, ejecución técnica y resultado funcional a largo plazo.

7.4. RIESGOS ESPECÍFICOS Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

La cirugía robótica introduce riesgos específicos derivados de la complejidad tecnológica, la dependencia de sistemas digitales y la integración entre plataformas, navegación, imagen y ejecución quirúrgica. Aunque muchos de los riesgos clínicos son compartidos con otras modalidades quirúrgicas, el entorno robótico incorpora nuevos factores relacionados con fallos tecnológicos, pérdida de referencias anatómicas, incidencias de calibración, errores de comunicación y limitaciones derivadas de la interacción entre personas y sistemas automatizados.

La seguridad del entorno robótico depende en gran medida de la capacidad para anticipar estos riesgos y establecer estrategias de mitigación capaces de detectar precozmente desviaciones del procedimiento antes de que generen consecuencias clínicas relevantes. En este contexto, la prevención no debe entenderse únicamente como respuesta ante el error, sino como diseño estructurado de sistemas asistenciales orientados a minimizar vulnerabilidades y aumentar fiabilidad organizativa [1,2].

Uno de los principales riesgos de la cirugía robótica está relacionado con la dependencia tecnológica. Fallos de software, incidencias de calibración, problemas de comunicación entre dispositivos o errores de navegación pueden afectar la continuidad y seguridad del procedimiento. Aunque la incidencia de fallos críticos es relativamente baja, la creciente complejidad de las plataformas obliga a disponer de protocolos claros de verificación, mantenimiento y respuesta ante incidencias técnicas.

En cirugía robótica de consola, caben destacar varios aspectos:

- El riesgo de daño tisular fuera de plano, ya comentado, puede mitigarse mediante la norma de seguridad visual activa, en la que ningún instrumento se mueve si no está bajo el foco visual directo del cirujano.
- La movilización inadvertida de un trócar en la anatomía del paciente puede llevar a daño tisular. Para minimizar este riesgo, el ayudante debe comprobar sistemáticamente este tipo de movimientos accidentales de los puertos.
- El riesgo de reconversión de emergencia es siempre un punto crítico en la cirugía intracavitaria. Un

sangrado masivo debe conllevar una conversión inmediata y ágil a cirugía abierta. Para conseguir este objetivo de desacoplamiento urgente, el equipo quirúrgico debe estar suficientemente entrenado, conocer perfectamente la plataforma robótica, y se debe contar con un ayudante de campo capacitado.

El posicionamiento prolongado constituye otro factor relevante de riesgo perioperatorio. Lesiones neurológicas por compresión, síndrome compartimental, neuropatías periféricas, lesiones oculares y complicaciones musculoesqueléticas pueden aparecer especialmente en procedimientos largos o en posiciones extremas mantenidas durante varias horas. La prevención de estas complicaciones requiere coordinación estricta entre cirugía, anestesia y enfermería, así como protocolos específicos de protección y monitorización intraoperatoria.

En cirugía digestiva, urológica, ginecológica y torácica, los riesgos específicos incluyen además complicaciones relacionadas con neumoperitoneo, sangrado de difícil acceso, lesiones vasculares o viscerales y dificultades asociadas a la conversión quirúrgica. Aunque la robótica puede mejorar la precisión técnica, la complejidad anatómica y la dependencia tecnológica obligan a mantener planes alternativos y capacidad de respuesta inmediata ante incidencias graves.

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, los riesgos específicos presentan características particulares relacionadas con la navegación, la biomecánica y la integración de imagen. La seguridad del procedimiento depende de la correcta correlación entre anatomía real, referencias espaciales y representación digital 3D intraoperatoria. Errores de registro anatómico, desplazamiento de marcadores, pérdida de calibración o alteraciones de la referencia espacial pueden comprometer la precisión y la seguridad biomecánica del procedimiento [4–6].

En artroplastia robótica, pequeñas desviaciones en alineación, balance ligamentoso o posicionamiento protésico pueden tener impacto clínico significativo sobre estabilidad, desgaste, dolor o supervivencia del implante. Por ello, la validación intraoperatoria continua constituye una de las principales estrategias de mitigación del riesgo. La comprobación repetida de referencias anatómicas, balance dinámico y alineación permite detectar desviaciones antes de ejecutar fases irreversibles del procedimiento.

En cirugía de columna y procedimientos de trauma guiado, la precisión de las trayectorias depende de la estabilidad de la navegación y de la correcta integración entre fluoroscopia, referencias anatómicas y sistemas robóticos. Movimientos del paciente, pérdida de referencia espacial o modificaciones anatómicas intraoperatorias pueden alterar la precisión de la navegación y aumentar el riesgo de malposición de implantes o lesión vascular o neurológica. En estos escenarios, la seguridad depende de protocolos estrictos de validación anatómica y verificación continua de trayectorias.

La mitigación de riesgos en cirugía robótica requiere estrategias multicapa que combinen tecnología, organización y factores humanos. El mantenimiento preventivo de las plataformas, la verificación sistemática del instrumental, la calibración protocolizada y la existencia de planes de contingencia forman parte esencial de la seguridad tecnológica. Del mismo modo, la utilización de checklists específicas y la realización de briefing y debriefing quirúrgicos permiten mejorar coordinación y detección precoz de incidencias.

La formación del equipo constituye otra herramienta esencial de mitigación. La familiaridad con la plataforma, el entrenamiento en resolución de incidencias y la

simulación de situaciones críticas pueden reducir significativamente el impacto de errores técnicos o problemas organizativos. En programas robóticos experimentados, la gestión de riesgos forma parte estructural de la cultura del equipo y no únicamente de protocolos aislados.

La conversión a cirugía convencional representa también una estrategia legítima de seguridad. La capacidad para abandonar el procedimiento robótico cuando las condiciones clínicas o técnicas lo requieren constituye un indicador de madurez quirúrgica y no un fracaso tecnológico. La seguridad del paciente debe prevalecer siempre sobre la continuidad del procedimiento robótico.

Desde una perspectiva organizativa, la identificación sistemática de incidencias y *near misses* permite desarrollar modelos de mejora continua y aprendizaje institucional. La cirugía robótica ofrece además una ventaja diferencial relacionada con la trazabilidad tecnológica del procedimiento, facilitando el análisis detallado de errores, secuencias críticas y desviaciones del proceso asistencial.

La seguridad en cirugía robótica no depende de la ausencia absoluta de riesgo, sino de la capacidad del sistema para anticipar errores, detectar desviaciones y responder de forma precoz y estructurada ante situacio-



nes potencialmente adversas. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, este principio adquiere especial relevancia debido a la estrecha relación entre la precisión biomecánica, la navegación intraoperatoria y el resultado funcional a largo plazo.

7.5. CULTURA DE SEGURIDAD E IMPACTO EN EVENTOS ADVERSOS

La cultura de seguridad constituye uno de los elementos más determinantes para la consolidación de programas de cirugía robótica seguros, reproducibles y sostenibles. Aunque la tecnología puede aportar precisión, navegación avanzada y capacidad de monitorización, la reducción real de eventos adversos depende fundamentalmente de cómo las organizaciones integran la seguridad dentro de su práctica clínica cotidiana. En este contexto, la cirugía robótica no debe entenderse únicamente como una innovación tecnológica, sino como un modelo asistencial que exige nuevas dinámicas de coordinación, evaluación y aprendizaje continuo.

La seguridad quirúrgica moderna se basa en la combinación de protocolos, comunicación efectiva, monitorización de resultados y capacidad institucional para

identificar y corregir desviaciones del proceso. La cirugía robótica hace especialmente visible esta necesidad debido a la elevada interacción entre personas, plataformas tecnológicas, navegación, imagen intraoperatoria y organización del bloque quirúrgico. La complejidad del entorno robótico obliga a desarrollar culturas organizativas donde la seguridad forme parte estructural del proceso asistencial y no únicamente de medidas aisladas de control [1,2].

La aparición de eventos adversos en cirugía robótica suele ser multifactorial. Las complicaciones rara vez dependen exclusivamente de un fallo técnico individual y con frecuencia reflejan la interacción entre factores humanos, organizativos y tecnológicos. Problemas de comunicación, errores de planificación, incidencias de calibración, fallos de coordinación o deficiencias en la supervisión pueden combinarse y favorecer desviaciones del procedimiento. Por ello, los programas robóticos evolucionados tienden a utilizar modelos de análisis sistémico del error y no enfoques centrados únicamente en la responsabilidad individual.

La monitorización de eventos adversos constituye uno de los pilares de mejora continua en cirugía robótica. La evaluación sistemática de complicaciones,



conversiones, incidencias técnicas, reintervenciones, tiempos operatorios y resultados funcionales permite identificar patrones de riesgo y desarrollar estrategias preventivas. La capacidad de registrar y analizar de forma detallada la actividad quirúrgica representa además una de las principales ventajas de los entornos quirúrgicos digitalizados [3].

La experiencia acumulada demuestra que los programas con mayor volumen, protocolos más estructurados y equipos estables suelen presentar mejores resultados clínicos y menor incidencia de eventos adversos [4,5].

En Cirugía Ortopédica y Traumatología, la cultura de seguridad no depende únicamente de evitar complicaciones inmediatas, sino también de minimizar desviaciones técnicas capaces de comprometer estabilidad, alineación o supervivencia protésica a medio y largo plazo [6-8].

En artroplastia robótica, la posibilidad de registrar alineación, balance ligamentoso, posición de implantes y validación dinámica intraoperatoria facilita una monitorización mucho más detallada del procedimiento que en modelos convencionales. Esta trazabilidad permite correlacionar ejecución técnica con la planificación realizada y evolución clínica, favoreciendo modelos de mejora continua basados en datos reales y no únicamente en percepción subjetiva del resultado quirúrgico.

En cirugía de columna y procedimientos de trauma guiado, la integración entre navegación, fluoroscopia y control espacial permite desarrollar sistemas de verificación más precisos para trayectorias e implantes. Sin embargo, la elevada dependencia tecnológica también obliga a mantener vigilancia constante sobre calibración, registro anatómico y estabilidad de las referencias intraoperatorias. La cultura de seguridad en estos procedimientos debe incorporar supervisión continua y capacidad para detectar precozmente desviaciones potencialmente críticas.

Es necesario establecer una cultura de comunicación de eventos adversos que permita un adecuado seguimiento de los mismos. En este sentido, es clave el desarrollo de una auditoría digitalizada ("black box" quirúrgico), estableciendo una norma de grabación sistemática de procedimientos y de registro de métricas de movimiento (APM).

En cuanto a las complicaciones postquirúrgicas, se deben establecer protocolos de análisis clínico de recuperación y daño funcional, con escalas validadas que permitan el registro estructurado de resultados funcionales (PROMs).

La comunicación entre profesionales constituye otro componente esencial de la cultura de seguridad. En programas robóticos complejos, la calidad de la comunicación influye de forma directa sobre seguridad y eficiencia operatoria.

La creación de entornos no punitivos resulta igualmente fundamental para consolidar sistemas seguros. La seguridad en cirugía robótica depende en gran medida de la capacidad institucional para transformar incidencias en oportunidades de aprendizaje y mejora.

Desde una perspectiva organizativa, la cultura de seguridad también implica desarrollar sistemas estables de evaluación y benchmarking. La comparación de resultados entre equipos y centros permite identificar áreas de mejora y reducir variabilidad asistencial. En el futuro, la integración de registros clínicos, navegación intraoperatoria y análisis automatizado de datos probablemente permitirá avanzar hacia modelos quirúrgicos cada vez más monitorizados y orientados a calidad.

La cirugía robótica ofrece además oportunidades relevantes para la cirugía basada en datos y la monitorización objetiva del rendimiento quirúrgico. La posibilidad de registrar secuencias operatorias, tiempos, movimientos, incidencias técnicas y parámetros biomecánicos puede facilitar modelos avanzados de evaluación y mejora continua. No obstante, estos desarrollos deben interpretarse con prudencia y acompañarse de adecuada gobernanza clínica, protección de datos y validación científica.

En la práctica clínica, la reducción de eventos adversos no depende únicamente de disponer de tecnología avanzada, sino de desarrollar organizaciones capaces de integrar protocolos, formación, análisis crítico y cultura de mejora continua dentro de un mismo modelo asistencial. En Cirugía Ortopédica y Traumatología, este enfoque adquiere especial relevancia debido a la estrecha relación entre precisión técnica, reproducibilidad biomecánica y resultados funcionales a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- **1.** Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg.* 2004;239(1):14-21. doi:10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d.
- **2.** Gillespie BM, Gillespie J, Boorman RJ, Granqvist K, Stranne J, Erichsen-Andersson A. The Impact of Robotic-Assisted Surgery on Team Performance: A Systematic Mixed Studies Review. *Hum Factors.* 2021;63(8):1352-1379. doi:10.1177/0018720820928624.
- **3.** Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Ann Surg.* 2018 Jul;268(1):70-76. doi:10.1097/SLA.0000000000002693.
- **4.** Birkmeyer JD, Stukel TA, Siewers AE, Goodney PP, Wennberg DE, Lucas FL. Surgeon volume and operative mortality in the United States. *N Engl J Med.* 2003;349(22):2117-27. doi: 10.1056/NEJMsa035205.
- **5.** Ahmed K, Khan R, Mottrie A, Lovegrove C, Abaza R, Ahlawat R, Ahlering T, Ahlgren G, et al. Development of a standardised training curriculum for robotic surgery: a consensus statement from an international multidisciplinary group of experts. *BJU Int.* 2015;116(1):93-101. doi: 10.1111/bju.12974.
- **6.** Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdom A. Robotic Technology in Orthopaedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Nov 21;100(22):1984-1992. doi:10.2106/JBJS.17.01397.
- **7.** Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
- **8.** Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi: 10.1016/j.arth.2020.03.005.
- **9.** Greenberg CC, Regenbogen SE, Studdert DM, Lipsitz SR, Rogers SO, Zinner MJ, Gawande AA. Patterns of communication breakdowns resulting in injury to surgical patients. *J Am Coll Surg.* 2007;204(4):533-40. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2007.01.010.
- **10.** Haynes AB, Weiser TG, Berry WR, Lipsitz SR, Breizat AH, Dellinger EP, Herbosa T, Joseph S, Kibatala PL, Lapitan MC, Merry AF, Moorthy K, Reznick RK, Taylor B, Gawande AA; Safe Surgery Saves Lives Study Group. A surgical safety checklist to reduce morbidity and mortality in a global population. *N Engl J Med.* 2009;360(5):491-9. doi: 10.1056/NEJMsa0810119.
- **11.** Haugen AS, Sevdalis N, Sjøfteland E. Impact of the World Health Organization Surgical Safety Checklist on Patient Safety. *Anesthesiology.* 2019;131(2):420-425. doi: 10.1097/ALN.0000000000002674.
- **12.** Alemzadeh H, Raman J, Leveson N, Kalbarczyk Z, Iyer RK. Adverse Events in Robotic Surgery: A Retrospective Study of 14 Years of FDA Data. *PLoS One.* 2016;11(4):e0151470. doi: 10.1371/journal.pone.0151470.
- **13.** Allers JC, Hussein AA, Ahmad N, Cavuoto L, Wing JF, Hayes RM, Hinata N, Bisantz AM, Guru KA. Evaluation and Impact of Workflow Interruptions During Robot-assisted Surgery. *Urology.* 2016 Jun;92:33-7. doi:10.1016/j.urology.2016.02.040.
- **14.** de Vries EN, Prins HA, Crolla RM, den Outer AJ, van Anel G, van Helden SH, Schlack WS, van Putten MA, Gouma DJ, Dijkgraaf MG, Smorenburg SM, Boermeester MA; SURPASS Collaborative Group. Effect of a comprehensive surgical safety system on patient outcomes. *N Engl J Med.* 2010;363(20):1928-37. doi:10.1056/NEJMsa0911535.Principio del formularioFinal del formulario
- **15.** Wong E, Chu T, Ma R, et al. Automated performance metrics, learning curve and robotic colorectal surgery. *Int J Med Robot Comput Assist Surg.* 2024;20(1):e2588. Doi:10.1002/rcs.2588

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

VIII. Formación y acreditación: garantía de calidad y resultados

- 8.1** Capacitación progresiva y simulación.
Entrenamiento clínico e indicación
quirúrgica
- 8.2** Acreditación profesional
y de centros
- 8.3** Relación formación, volumen
y resultados clínicos



Formación y acreditación:
garantía de calidad
y resultados

VIII.

Formación y acreditación: garantía de calidad y resultados

FORMACIÓN Y ACREDITACIÓN EN CIRUGÍA ROBÓTICA: HACIA UN MODELO BASADO EN COMPETENCIAS

Introducción

La cirugía robótica ha experimentado una expansión extraordinaria durante las dos últimas décadas, pasando de un escenario dominado por una única plataforma tecnológica a un ecosistema cada vez más diverso, con múltiples fabricantes, arquitecturas robóticas y modelos de implementación clínica. Este crecimiento ha permitido ampliar las indicaciones de la cirugía mínimamente invasiva y facilitar la realización de procedimientos técnicamente complejos mediante visión tridimensional, instrumentación articulada, filtrado del temblor y mejoras ergonómicas significativas. Sin embargo, la rápida evolución tecnológica no ha ido acompañada de una estandarización equivalente de los procesos de formación y acreditación profesional.

Actualmente, los programas de entrenamiento en cirugía robótica son desarrollados fundamentalmente por los propios fabricantes, cada uno con itinerarios, métricas y sistemas de certificación específicos. Aunque estos programas comparten elementos comunes, persiste una importante heterogeneidad entre plataformas, hospitales y países, lo que dificulta la comparabilidad de las competencias adquiridas y limita la transferencia de habilidades entre sistemas diferentes. Esta situación ha sido descrita como una paradoja de la cirugía robótica moderna: una tecnología altamente sofisticada sustentada por modelos formativos insuficientemente armonizados.

La evidencia disponible y los consensos internacionales más recientes coinciden en señalar la necesidad de evolucionar hacia modelos de formación y acreditación basados en competencias objetivamente evaluables, independientes del fabricante y centrados en la seguridad del paciente.

Principios generales de la formación en cirugía robótica

La formación en cirugía robótica debe entenderse como un proceso progresivo y estructurado destinado

a garantizar la adquisición de conocimientos, habilidades técnicas y competencias no técnicas necesarias para una práctica segura y eficiente.

Existe un amplio consenso en que la simple experiencia laparoscópica previa, aunque constituye una base importante, no sustituye la necesidad de una formación específica en cirugía robótica. Del mismo modo, la certificación proporcionada por un fabricante no debe interpretarse como equivalente a competencia clínica autónoma.

Los programas contemporáneos de formación comparten una serie de componentes esenciales:

- Formación teórica o e-learning.
- Simulación virtual.
- Entrenamiento práctico en laboratorio seco (dry lab).
- Entrenamiento en laboratorio húmedo o modelos biológicos (wet lab).
- Observación clínica estructurada.
- Proctorización de casos iniciales.
- Evaluación objetiva de competencias.
- Acreditación progresiva y seguimiento continuado.

Este modelo escalonado permite reducir riesgos durante la curva de aprendizaje y facilitar una transición segura desde el entorno simulado hasta la práctica clínica independiente.

Formación cognitiva y conocimientos fundamentales

La fase inicial debe centrarse en la adquisición de conocimientos relacionados con:

- Arquitectura y funcionamiento del sistema robótico.
- Ergonomía quirúrgica.
- Configuración del quirófano.
- Posicionamiento del paciente.
- Docking y acoplamiento del robot.
- Instrumentación y fuentes de energía.
- Procedimientos de seguridad.
- Resolución de incidencias y protocolos de conversión.

Los programas de formación desarrollados por los principales fabricantes incorporan actualmente módulos estructurados de aprendizaje digital que permiten estandarizar estos conocimientos antes de la exposición práctica.

Papel de la simulación

La simulación constituye actualmente uno de los pilares fundamentales de la formación robótica.

La evidencia disponible demuestra de forma consistente que los programas basados en simulación mejoran significativamente el rendimiento quirúrgico, incluyendo el control de cámara, la coordinación bimanual, la manipulación tisular y la sutura intracorpórea. Los beneficios observados en simulación son transferibles al entorno clínico real.

Las modalidades más utilizadas incluyen:

- Simulación mediante realidad virtual.
- Simulación integrada en la consola robótica.
- Dry lab con modelos sintéticos.
- Wet lab con modelos animales o tejidos biológicos.

Los estudios comparativos sugieren que tanto la realidad virtual como el entrenamiento en laboratorio seco son eficaces, aunque este último puede proporcionar ventajas adicionales en habilidades avanzadas de reconstrucción y sutura.

Asimismo, los programas modernos tienden a adoptar modelos de aprendizaje por dominio (proficiency-based progression), en los cuales el avance del alumno depende de alcanzar objetivos previamente definidos y no simplemente de completar un determinado número de horas de entrenamiento.

Evaluación objetiva de competencias

Uno de los cambios conceptuales más importantes en la formación quirúrgica contemporánea es el abandono progresivo de los criterios basados exclusivamente en volumen de actividad.

Diversos estudios han demostrado que los requisitos tradicionales de acreditación continúan siendo extraordinariamente variables entre instituciones y, en muchos casos, insuficientes para garantizar una competencia adecuada. Algunas políticas hospitalarias exigen únicamente entre uno y diez casos supervisados para conceder privilegios robóticos iniciales.

Como alternativa, los consensos internacionales recomiendan utilizar herramientas objetivas de evaluación de competencias.

La herramienta más ampliamente validada es la Global Evaluative Assessment of Robotic Skills (GEARS), que evalúa seis dominios fundamentales:

- 01 Percepción de profundidad.
- 02 Destreza bimanual.
- 03 Eficiencia.
- 04 Sensibilidad a la fuerza.
- 05 Control robótico.
- 06 Autonomía.

GEARS ha demostrado una excelente fiabilidad inter-observador y capacidad para discriminar distintos niveles de experiencia, aunque estudios recientes sugieren que su capacidad discriminativa puede disminuir en determinados procedimientos y niveles avanzados de rendimiento.

Otras herramientas complementarias incluyen OSATS, R-OSATS, ARCS y O-Score, así como instrumentos específicos para procedimientos concretos. La tendencia actual apunta hacia modelos multimodales que combinen evaluación global, métricas específicas por procedimiento y análisis longitudinal del desempeño clínico.

Acreditación basada en competencias

Los consensos más recientes coinciden en que la acreditación debe basarse en la demostración objetiva de competencias y no exclusivamente en umbrales arbitrarios de volumen quirúrgico.

Las recomendaciones internacionales proponen que la concesión de privilegios incluya:

- Revisión estructurada de vídeos quirúrgicos.
- Evaluación mediante herramientas validadas.
- Supervisión inicial por cirujanos acreditados.
- Definición de estándares mínimos de competencia.
- Seguimiento periódico de resultados clínicos.

Este enfoque permite una evaluación más precisa del desempeño real del cirujano y favorece la mejora continua de la calidad asistencial.

Inteligencia artificial y evaluación automatizada

La inteligencia artificial está emergiendo como una de las áreas más prometedoras para la evaluación objetiva de habilidades quirúrgicas.

Los sistemas robóticos actuales generan grandes cantidades de información relacionada con los movi-

mientos de los instrumentos, tiempos operatorios, trayectorias y patrones de interacción. Estos datos pueden utilizarse para desarrollar métricas automatizadas de rendimiento capaces de complementar la evaluación humana tradicional.

Las principales aplicaciones actuales incluyen:

- Análisis cinemático de movimientos.
- Reconocimiento automático de gestos quirúrgicos.
- Segmentación automática de fases operatorias.
- Evaluación mediante visión por computador.
- Sistemas de retroalimentación personalizada.

Diversos modelos de aprendizaje automático han demostrado capacidades superiores al 85-90 % para diferenciar entre operadores noveles y expertos en entornos experimentales.

Asimismo, los sistemas de retroalimentación automatizada basados en inteligencia artificial han demostrado mejorar significativamente el aprendizaje de habilidades complejas, especialmente en cirujanos en fases iniciales de formación.

A pesar de estos avances, persisten limitaciones relacionadas con la validación externa, la transparencia algorítmica y la correlación entre métricas automatizadas y resultados clínicos relevantes para el paciente.

Hacia un modelo independiente del fabricante

La creciente diversificación del mercado robótico plantea la necesidad de desarrollar modelos formativos neutrales respecto a la plataforma utilizada.

Aunque algunos programas actuales comparten numerosos elementos estructurales, sus procesos de certificación continúan siendo esencialmente independientes y no equivalentes entre sí.

Las recomendaciones internacionales más recientes abogan por una transición progresiva desde modelos de acreditación específicos de plataforma hacia modelos basados en competencias transferibles, centrados en principios universales de cirugía robótica.

En este contexto, las sociedades científicas, universidades y organismos acreditadores deberían asumir un papel más activo en la definición de estándares comunes, favoreciendo la interoperabilidad formativa y la movilidad profesional.

Recomendaciones

- 01 La formación en cirugía robótica debe estructurarse mediante itinerarios progresivos basados en competencias.
- 02 La simulación debe incorporarse obligatoriamente en las fases iniciales del aprendizaje.
- 03 La acreditación no debe depender exclusivamente del número de procedimientos realizados.
- 04 Deben utilizarse herramientas objetivas de evaluación validadas, incluyendo GEARS y sistemas equivalentes.
- 05 Los resultados clínicos y la revisión de vídeo deben formar parte del proceso de credentialing.
- 06 Los programas de formación deben evolucionar hacia modelos independientes del fabricante.

- 07 Las sociedades científicas y las universidades deberían liderar la armonización internacional de los estándares formativos.
- 08 La inteligencia artificial debe incorporarse progresivamente como herramienta complementaria para la evaluación objetiva y la retroalimentación personalizada.
- 09 La competencia debe entenderse como un proceso dinámico sujeto a reevaluación periódica y no como un objetivo alcanzado de forma definitiva.
- 10 El objetivo final de cualquier programa de formación en cirugía robótica debe ser garantizar la seguridad del paciente, la reproducibilidad de los resultados y la excelencia técnica independientemente de la plataforma utilizada.

Referencias

- ¿Son adecuados los requisitos actuales de acreditación para la cirugía robótica a fin de garantizar la competencia del cirujano?. Huffman EM, Rosen SA, Levy JS, Martino MA, Stefanidis D. *Surgical Endoscopy*. 2021;35(5):2104-2109. doi:10.1007/s00464-020-07608-2.
- Recomendaciones de consenso de expertos para la acreditación en cirugía robótica. Stefanidis D, Huffman EM, Collins JW, et al. *Annals of Surgery*. 2022;276(1):88-93. doi:10.1097/SLA.0000000000004531.
- Reunión de consenso de Orsi sobre formación robótica europea (OCERT): resultados de la primera reunión de consenso multiespecializada sobre formación en cirugía asistida por robot. Vanlander AE, Mazzone E, Collins JW, et al. *European Urology*. 2020;78(5):713-716. doi:10.1016/j.eururo.2020.02.003.
- Cirugía asistida por robot para afecciones ginecológicas no cancerosas: OPINIÓN DEL COMITÉ DEL ACOG, Número 810. Comité de Práctica Ginecológica. *Obstetrics and Gynecology*. 2020;136(3):e22-e30. doi:10.1097/AOG.0000000000004048.
- Cirugía asistida por robot para afecciones ginecológicas no cancerosas: OPINIÓN DEL COMITÉ DEL ACOG, Número 810. *Obstetrics and Gynecology*. 2020;136(3):e22-e30. doi:10.1097/AOG.0000000000004048.
- Incorporación de la formación de residentes y becarios a un programa de cirugía robótica. Vetter MH,

- Green I, Martino M, Fowler J, Salani R. *Journal of Surgical Oncology*. 2015;112(7):684-9. doi:10.1002/jso.24006.
- Resultados del rendimiento quirúrgico de un plan de estudios de habilidades quirúrgicas robóticas basado en simuladores. Gerull W, Zihni A, Awad M. *Surgical Endoscopy*. 2020;34(10):4543-4548. doi:10.1007/s00464-019-07243-6.
- Competencia virtual: un análisis comparativo de la formación en simulación robótica mediante realidad virtual y laboratorio seco. Raison N, Gavazzi A, Abe T, Ahmed K, Dasgupta P. *Journal of Endourology*. 2020;34(3):379-384. doi:10.1089/end.2019.0541.
- Eficacia comparativa de dos planes de estudios robóticos de aprendizaje por dominio basados en la simulación en la formación quirúrgica: una experiencia de seis años. Nunez-Rocha RE, Castillo-Flores S, Palacios SG, et al. *Surgical Endoscopy*. 2025;10.1007/s00464-025-12321-z. doi:10.1007/s00464-025-12321-z.
- Formación en cirugía asistida por robot: una revisión sistemática de las modalidades de formación y los métodos de evaluación objetiva y subjetiva. Rahimi AM, Uluç E, Hardon SF, et al. *Surgical Endoscopy*. 2024;38(7):3547-3555. doi:10.1007/s00464-024-10915-7.
- Un modelo de concesión de privilegios basado en competencias para plataformas robóticas. Ashar BS, Selber JC. *JAMA Surgery*. 2026;2848845. doi:10.1001/jamasurg.2026.1350.

8.1. CAPACITACIÓN PROGRESIVA Y SIMULACIÓN. ENTRENAMIENTO CLÍNICO E INDICACIÓN QUIRÚRGICA

La formación en cirugía robótica ha evolucionado desde modelos tradicionales basados en aprendizaje oportunista intraoperatorio hacia programas estructurados, progresivos y basados en competencias, apoyados de forma creciente en simulación y evaluación objetiva del desempeño. La evidencia acumulada durante la última década demuestra que el aprendizaje por dominio basado en simulación (“simulation-based mastery learning”, SBML) y la progresión basada en competencias representan actualmente los modelos más eficaces para la capacitación robótica, permitiendo una adquisición más reproducible de habilidades técnicas, una reducción de la curva de aprendizaje y una transferencia efectiva al entorno quirúrgico real.

El aprendizaje progresivo constituye uno de los pilares fundamentales de la formación robótica moderna. A diferencia de los modelos tradicionales centrados en número de casos o tiempo de exposición, los programas actuales establecen objetivos técnicos concretos que el alumno debe alcanzar antes de avanzar a etapas más complejas. Los currículos estructurados suelen desarrollarse en múltiples niveles progresivos que incluyen: formación teórica y familiarización con la plataforma, simulación básica de habilidades psicomotoras, simulación procedural avanzada, entrenamiento supervisado en quirófano y práctica independiente con evaluación continua. El Grupo de Trabajo sobre Educación en Cirugía Robótica propuso un currículo consensuado de cinco niveles basado precisamente en esta progresión gradual desde principiante hasta práctica autónoma, incorporando simulación, entrenamiento procedural y evaluación objetiva en cada fase.

Dentro de este modelo, el aprendizaje por dominio basado en simulación ha emergido como el estándar de referencia. Este enfoque exige que los alumnos practiquen tareas específicas hasta alcanzar niveles predefinidos de competencia —habitualmente ≥ 90 % de rendimiento objetivo— antes de progresar al siguiente nivel. Estudios recientes han demostrado que los currículos SBML permiten mejorar significativamente la eficiencia formativa y alcanzar mayores tasas de dominio técnico. Un currículo refinado basado en simulación redujo el número de ejercicios de realidad virtual de 33 a 19 manteniendo una tasa

de dominio del 100 % y disminuyendo significativamente el tiempo total de entrenamiento en consola. Este modelo favorece además una formación más homogénea y reproducible entre distintos centros y perfiles de alumnos.

La simulación mediante realidad virtual representa uno de los elementos más sólidos y validados de la formación robótica. Algunas plataformas permiten entrenar habilidades fundamentales como control de cámara, coordinación bimanual, disección, sutura intracorpórea, manejo de energía y economía de movimiento en un entorno seguro, reproducible y libre de riesgo para el paciente. Los simuladores incorporan métricas automatizadas capaces de registrar tiempo operatorio, trayectorias instrumentales, colisiones, precisión y tasas de error, proporcionando una evaluación objetiva y continua del rendimiento técnico. Diversos estudios han demostrado que la simulación en realidad virtual mejora significativamente la adquisición de habilidades básicas y reduce errores técnicos, especialmente durante las fases iniciales de la curva de aprendizaje.

La transferencia de habilidades desde la simulación hacia el entorno clínico real constituye uno de los aspectos mejor respaldados por la evidencia. Los programas basados en simulación han demostrado mejoras significativas en escalas validadas de rendimiento quirúrgico como GEARS, OSATS o RO-SCORE, incluyendo avances relevantes en control de cámara, manejo de tejidos, control de aguja y precisión técnica. Asimismo, la formación mediante simulación se asocia con reducción de la carga física y cognitiva percibida, menor frustración y mayor confianza operatoria. Estudios experimentales muestran además que las habilidades adquiridas en simulación virtual se transfieren eficazmente a modelos físicos e inanimados, reforzando el papel de la simulación como herramienta de entrenamiento inicial y mantenimiento competencial.

La cirugía robótica facilita además una capacitación más estructurada gracias a la posibilidad de modularizar procedimientos complejos en fases y pasos secuenciales definidos. Los modelos de proceso quirúrgico (“Surgical Process Models”) permiten descomponer intervenciones en tareas concretas, errores y errores críticos, favoreciendo un aprendizaje incremental y una evaluación objetiva del desempeño. Esta modularización resulta especialmente útil en cirugía compleja, donde los alumnos pueden desarrollar competencias específicas antes de afrontar procedimientos completos. La doble consola,

la videoteca quirúrgica, la tutoría estructurada y el teleproctoring complementan este ecosistema formativo, permitiendo supervisión progresiva y retroalimentación continua durante las primeras fases clínicas.

Sin embargo, pese al importante desarrollo tecnológico y metodológico, persisten limitaciones relevantes. La calidad metodológica de muchos estudios continúa siendo moderada y existe una considerable heterogeneidad entre currículos, plataformas y métricas de evaluación. Además, la evidencia sobre el impacto directo de la simulación en resultados clínicos a largo plazo sigue siendo limitada. Aunque existen programas internacionales consolidados —como Fundamentals of Robotic Surgery, Robotic Masters Series u otros pathways oficiales—, la disponibilidad de formación práctica continúa siendo desigual y dependiente de recursos locales.

En este contexto, la situación en España plantea desafíos específicos. Actualmente, una parte importante de la formación en cirugía robótica continúa dependiendo de la industria tecnológica, tanto en el acceso a simuladores y plataformas como en la organización de cursos, acreditaciones y programas de entrenamiento. Aunque la colaboración con la industria ha sido fundamental para el desarrollo inicial de la cirugía robótica, existe una necesidad creciente de que las sociedades científicas, universidades, hospitales y organismos públicos —tanto nacionales como autonómicos— asuman un papel más activo en la estructuración y regulación de la capacitación robótica. La creación de programas oficiales, currículos acreditados, centros de simulación independientes y sistemas homogéneos de certificación permitiría garantizar una formación más equitativa, estandarizada y basada en competencias objetivas. Del mismo modo, la implicación institucional resulta esencial para evitar desigualdades en el acceso a la formación, asegurar criterios de calidad y promover modelos docentes sostenibles alineados con las necesidades reales del sistema sanitario.

En conjunto, la evidencia actual respalda firmemente la formación progresiva basada en competencias y simulación como elemento central de la cirugía robótica moderna. La combinación de aprendizaje estructurado, simulación avanzada, evaluación objetiva y progresión modular permite desarrollar habilidades técnicas de forma más segura, reproducible y estandarizada, constituyendo probablemente uno de los mayores avances educativos introducidos por la cirugía robótica en la formación quirúrgica contemporánea.

8.2. ACREDITACIÓN PROFESIONAL Y DE CENTROS

La acreditación profesional y de centros constituye uno de los principales retos pendientes en cirugía robótica. Aunque la tecnología ha avanzado de forma muy rápida, los sistemas de certificación continúan siendo heterogéneos y, en muchos casos, insuficientemente estandarizados. La evidencia disponible demuestra una gran variabilidad entre hospitales en los requisitos para acreditar cirujanos robóticos, tanto en formación inicial como en mantenimiento de privilegios, con escasa utilización de métricas objetivas de competencia y monitorización de resultados clínicos. Diversos consensos internacionales coinciden en que los modelos actuales, basados principalmente en número de casos o procedimientos tutorizados, probablemente no garantizan por sí solos una competencia quirúrgica adecuada ni una calidad homogénea.[1-2]

En este contexto, resulta fundamental diferenciar varios conceptos. La certificación profesional hace referencia al reconocimiento oficial de competencias del cirujano, mientras que la acreditación (“credentialing”) y concesión de privilegios (“privileging”) corresponden al proceso institucional que autoriza la realización de procedimientos específicos. Del mismo modo, la acreditación de unidades o centros implica verificar que un programa robótico dispone de estándares adecuados de infraestructura, volumen, formación, simulación, monitorización de resultados y seguridad asistencial. La tendencia actual se orienta hacia modelos basados en competencias objetivas, evaluación técnica estructurada, revisión de vídeo quirúrgico, simulación y seguimiento continuo de resultados, más que en simples umbrales de actividad.[1][3]

La cirugía robótica ha favorecido especialmente el desarrollo de estos modelos porque permite cuantificar el desempeño técnico mediante vídeo, simulación y métricas digitales objetivas. Esto facilita avanzar hacia sistemas de acreditación más reproducibles, comparables y basados en calidad técnica real. Asimismo, múltiples sociedades científicas recomiendan programas progresivos de capacitación con simulación, proctoring, evaluación objetiva y reacreditación periódica, tanto para profesionales como para centros.[3-5]

Sin embargo, la situación actual sigue siendo muy dependiente de iniciativas locales y de la propia industria

tecnológica. En España, al igual que en otros países europeos, gran parte de la formación y acreditación práctica continúa organizada alrededor de los fabricantes de plataformas robóticas, ante la ausencia de un marco nacional homogéneo. Aunque la colaboración con la industria ha sido esencial para el desarrollo inicial de la cirugía robótica, resulta necesario que las sociedades científicas, universidades, hospitales y administraciones sanitarias —tanto nacionales como autonómicas— asuman un papel mucho más activo en la definición de estándares formativos y criterios de acreditación.

El desarrollo de programas oficiales de certificación de profesionales y acreditación de unidades robóticas permitiría garantizar estándares mínimos de calidad, reducir variabilidad entre centros, favorecer una formación más equitativa y reforzar la seguridad del paciente. En este sentido, el futuro de la cirugía robótica probablemente dependerá no solo de la evolución tecnológica, sino también de la capacidad de construir sistemas sólidos de gobernanza clínica, evaluación objetiva y acreditación basada en competencias y resultados.

Referencias bibliográficas

- **1.** Expert Consensus Recommendations for Robotic Surgery Credentialing. *Annals of Surgery*. 2022. Stefanidis D, Huffman EM, Collins JW, et al.
- **2.** Are Current Credentialing Requirements for Robotic Surgery Adequate to Ensure Surgeon Proficiency?. *Surgical Endoscopy*. 2021. Huffman EM, Rosen SA, Levy JS, Martino MA, Stefanidis D.
- **3.** A Pan-European Survey of Robotic Training for Gastrointestinal Surgery: European Robotic Surgery Consensus (ERSC) Initiative. *Surgical Endoscopy*. 2025. Fadel MG, Walshaw J, Pecchini F, et al.
- **4.** A Competency-Based Privileging Model for Robotic Platforms. *JAMA Surgery*. 2026. As-har BS, Selber JC.
- **5.** Training and Credentialing in Robotic General Surgery. *International Journal of Colorectal Disease*. 2026. Harris M, Mohan H, Martins BAA, et al.

8.3. RELACIÓN FORMACIÓN, VOLUMEN Y RESULTADOS CLÍNICOS

El volumen quirúrgico y la experiencia acumulada constituyen factores estrechamente relacionados con los resultados en cirugía robótica. La evidencia disponible demuestra que tanto los cirujanos como los hospitales de alto volumen suelen obtener mejores resultados perioperatorios, mayor eficiencia técnica y, en determinados procedimientos oncológicos, mejores indicadores de calidad quirúrgica. Sin embargo, la magnitud de estos beneficios varía según el tipo de intervención y existen diferencias significativas incluso entre centros con volúmenes similares, lo que indica que factores como la calidad de la formación, la selección de casos, la experiencia del equipo multidisciplinar y el soporte institucional desempeñan también un papel determinante.

Diversos estudios han mostrado que los cirujanos robóticos de alto volumen presentan menores tiempos operatorios, menor pérdida sanguínea, menos conversiones a cirugía abierta y mejores resultados técnicos. En prostatectomía radical robótica, los cirujanos con mayor volumen realizan más frecuentemente técnicas de preservación neurovascular y alcanzan mayores tasas de márgenes negativos.[1-2] De forma similar, en nefrectomía parcial robótica, el aumento del volumen quirúrgico se asocia con mejores tasas de “Trifecta” —ausencia de complicaciones, márgenes negativos y tiempo de isquemia reducido—, así como con menor estancia hospitalaria y menos complicaciones graves.[3] En cirugía colorrectal robótica, los cirujanos con mayor experiencia muestran menores tasas de conversión y menor utilización de recursos hospitalarios.[1]

El volumen hospitalario parece ejercer además un efecto independiente sobre los resultados, probablemente relacionado con la experiencia acumulada del equipo, la estandarización de procesos y la infraestructura perioperatoria. Los centros de alto volumen presentan habitualmente procedimientos más eficientes, menor estancia hospitalaria y menores tasas de eventos adversos en comparación con hospitales de bajo volumen.[3-5] No obstante, la existencia de variabilidad significativa entre hospitales con actividad similar sugiere que el volumen, aunque importante, no constituye el único determinante de calidad.



La cirugía robótica presenta asimismo curvas de aprendizaje específicas que varían según la complejidad del procedimiento y el parámetro analizado. En la mayoría de las intervenciones, la adquisición inicial de competencia técnica suele alcanzarse tras aproximadamente 12-35 casos, aunque algunos procedimientos complejos requieren cifras considerablemente superiores.[6-9] En escisión mesorrectal total robótica para cáncer de recto, la estabilización del tiempo operatorio suele producirse entre 12 y 21 casos, mientras que en gastrectomía robótica pueden requerirse alrededor de 25 casos para alcanzar competencia básica y hasta 48 para lograr niveles de dominio avanzado.[7-9] Estudios poblacionales muestran además que determinados indicadores de eficiencia continúan mejorando incluso tras varios cientos de procedimientos en algunas especialidades.[11]

“Diversos estudios han mostrado que los cirujanos robóticos de alto volumen presentan menores tiempos operatorios, menor pérdida sanguínea, menos conversiones a cirugía abierta y mejores resultados técnicos”

Un aspecto especialmente relevante es que la cirugía robótica puede implementarse de forma relativamente segura durante la curva de aprendizaje cuando se acompaña de programas estructurados de formación y supervisión. Diversos estudios multicéntricos no han encontrado aumentos significativos de

complicaciones graves durante las fases iniciales de aprendizaje, a pesar de observarse mejoras progresivas en eficiencia operatoria.[8][11] Probablemente, la modularización de procedimientos, la simulación, la doble consola y una adecuada selección de casos contribuyen a mantener perfiles aceptables de seguridad durante esta transición.

En este contexto, los programas de formación estructurados y basados en competencias han demostrado capacidad para acelerar la adquisición de habilidades y reducir la variabilidad asociada a la curva de aprendizaje. Los currículos más eficaces combinan formación teórica, simulación, laboratorio seco, videoteca quirúrgica, evaluación objetiva y progresión supervisada en quirófano.[12-15] Modelos como “Fundamentals of Robotic Surgery” o “SIMULATE” representan actualmente algunos de los programas con mayor nivel de evidencia. La tendencia actual se orienta hacia modelos de progresión basados en competencia objetiva (“proficiency-based progression”), donde el avance depende del cumplimiento de estándares técnicos predefinidos y no únicamente del número de casos realizados.

A pesar de estos avances, persisten importantes limitaciones. La heterogeneidad de las métricas utilizadas para evaluar curvas de aprendizaje y competencia dificulta la comparación entre estudios, y gran parte de la evidencia continúa centrada en parámetros técnicos más que en resultados clínicos o centrados en el paciente.[16] Además, la disponibilidad de programas estructurados de simulación y entrenamiento sigue siendo desigual entre países y centros.

En conjunto, la evidencia actual sugiere que la cirugía robótica es especialmente sensible al efecto volumen-experiencia, tanto a nivel individual como institucional. Los mejores resultados parecen alcanzarse en entornos con elevada actividad, protocolos estructurados, formación progresiva y monitorización continua de resultados. Por ello, múltiples expertos defienden modelos de concentración asistencial, acreditación de centros y programas formativos estandarizados como elementos clave para optimizar calidad, seguridad y eficiencia en cirugía robótica.

Referencias bibliográficas

- **1.** Higher Robotic Colorectal Surgery Volume Improves Outcomes. *American Journal of Surgery*. 2018. Bastawrous A, Baer C, Rashidi L, Neighorn C.
- **2.** Association of Surgeon and Hospital Volume With Short-Term Outcomes After Robot-Assisted Radical Prostatectomy: Nationwide, Population-Based Study. *PloS One*. 2021. Godtman RA, Persson E, Cazzaniga W, et al.
- **3.** Impact of Hospital Volume and Surgeon Volume on Robot-Assisted Partial Nephrectomy Outcomes: A Multicentre Study. *BJU International*. 2018. Peyronnet B, Tondut L, Bernhard JC, et al.
- **4.** Association of Center-Level Operative Volume and Acute Outcomes Following Robotic-Assisted Colectomy for Colorectal Cancer. *PloS One*. 2024. Cho NY, Kim S, Hadaya J, et al.
- **5.** Hospital Volume-Outcome Relationships for Robot-Assisted Surgeries: A Population-Based Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2024. Walker RJB, Stukel TA, de Mestral C, et al.
- **6.** An Appraisal of the Learning Curve in Robotic General Surgery. *Surgical Endoscopy*. 2017. Pernar LIM, Robertson FC, Tavakkoli A, et al.
- **7.** Learning Curve for Robotic-Assisted Total Mesorectal Excision: A Multicentre, Prospective Study. *Colorectal Disease : The Official Journal of the Association of Coloproctology of Great Britain and Ireland*. 2023. Arquillière J, Dubois A, Rullier E, et al.
- **8.** Assessing the Learning Curve of Robot-Assisted Total Mesorectal Excision: A Multicenter Study Considering Procedural Safety, Pathological Safety, and Efficiency. *International Journal of Colorectal Disease*. 2023. Burghgraef TA, Sikkenk DJ, Crolla RMPH, et al.
- **9.** Comprehensive Learning Curve of Robotic Surgery: Discovery From a Multicenter Prospective Trial of Robotic Gastrectomy. *Annals of Surgery*. 2021. Kim MS, Kim WJ, Hyung WJ, et al.
- **10.** Learning Curves for Robotic-Assisted Ventral Hernia Repair. *JAMA Network Open*. 2024. Loh WS, Howard RA, Fry BT, et al.
- **11.** Hospital Learning Curves for Robot-Assisted Surgeries: A Population-Based Analysis. *Surgical Endoscopy*. 2024. Walker RJB, Stukel TA, de Mestral C, et al.
- **12.** The Safety of Urologic Robotic Surgery Depends on the Skills of the Surgeon. *World Journal of Urology*. 2020. Palagonia E, Mazzone E, De Naeyer G, et al.
- **13.** Essential Components and Validation of Multi-Specialty Robotic Surgical Training Curricula: A Systematic Review. *International Journal of Surgery*. 2025. Walshaw J, Fadel MG, Boal M, et al. SR
- **14.** Current Standards for Training in Robot-Assisted Surgery and Endourology: A Systematic Review. *European Urology*. 2024. Basile G, Gallioli A, Diana P, et al.
- **15.** Training in Robotic-Assisted Surgery: A Systematic Review of Training Modalities and Objective and Subjective Assessment Methods. *Surgical Endoscopy*. 2024. Rahimi AM, Uluç E, Hardon SF, et al.
- **16.** A Systematic Review of the Learning Curve in Robotic Surgery: Range and Heterogeneity. *Surgical Endoscopy*. 2019. Kassite I, Bejan-Angoulvant T, Lardy H, Binet A.
- **17.** Robotic Surgery: The Impact of Simulation and Other Innovative Platforms on Performance and Training. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*. 2021. Azadi S, Green IC, Arnold A, et al.

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

IX. Barreras y palancas de transformación

- 9.1** Barreras estructurales y organizativas
- 9.2** Barreras culturales y profesionales
- 9.3** Fragmentación, inequidad y dependencia local
- 9.4** Palancas de cambio e implementación
- 9.5** Condiciones para implantación sostenible y gestión del riesgo



Barreras y palancas
de transformación

IX.

Barreras y
palancas de
transformación

La incorporación de la cirugía robótica en el Sistema Nacional de Salud representa uno de los procesos de transformación organizativa más relevantes de la cirugía contemporánea. Aunque el desarrollo tecnológico ha permitido ampliar las posibilidades de la cirugía mínimamente invasiva y mejorar determinados aspectos de la práctica quirúrgica, la experiencia acumulada demuestra que la disponibilidad de una plataforma robótica no garantiza por sí sola la obtención de mejores resultados clínicos ni una mayor eficiencia asistencial.

La implantación de programas robóticos exige cambios que van mucho más allá de la adquisición de equipamiento. Requiere adaptar modelos organizativos, desarrollar nuevas competencias profesionales, establecer sistemas de evaluación de resultados y asegurar una utilización adecuada de los recursos disponibles. En consecuencia, el éxito de estos programas depende tanto de factores tecnológicos como de la capacidad de los centros para integrar la innovación dentro de procesos asistenciales consolidados.

La experiencia internacional muestra que la adopción de la cirugía robótica suele enfrentarse a barreras de naturaleza diversa. Algunas están relacionadas con la financiación y la disponibilidad de recursos; otras



derivan de aspectos organizativos, culturales o profesionales. También existen desafíos asociados a la distribución territorial de la tecnología, la variabilidad entre centros y la necesidad de garantizar un acceso equitativo a procedimientos potencialmente beneficiosos para los pacientes.

Sin embargo, junto a estas dificultades existen factores que pueden facilitar el cambio. La existencia de liderazgo clínico, programas de formación estructurados, sistemas de gobernanza, evaluación basada en resultados y modelos colaborativos entre centros ha demostrado ser determinante para consolidar programas sostenibles y capaces de generar valor clínico y organizativo.

Desde la perspectiva del Sistema Nacional de Salud, el reto no consiste únicamente en incorporar nuevas tecnologías, sino en crear las condiciones que permitan utilizarlas de forma eficiente, segura y equitativa. Analizar las principales barreras y las palancas que favorecen la transformación resulta esencial para orientar la toma de decisiones y avanzar hacia modelos de implantación más maduros y sostenibles.

9.1. BARRERAS ESTRUCTURALES Y ORGANIZATIVAS

Las barreras estructurales y organizativas continúan siendo uno de los principales factores que condicionan la implantación y consolidación de la cirugía robótica en los sistemas sanitarios. Aunque el debate suele centrarse en el coste de adquisición de las plataformas, la experiencia acumulada demuestra que los desafíos más relevantes suelen estar relacionados con la organización asistencial necesaria para integrar esta tecnología de forma eficiente y sostenible.

La incorporación de un programa robótico implica una inversión que va más allá de la adquisición del equipamiento. Deben considerarse los costes asociados al mantenimiento de la plataforma, la renovación de instrumental, los consumibles específicos, la formación de los profesionales y, en muchos casos, la adaptación de infraestructuras y circuitos quirúrgicos. Estos elementos pueden representar una barrera significativa para determinados centros, especialmente cuando la implantación se realiza sin una planificación previa que garantice niveles adecuados de utilización y actividad [3].

La organización del bloque quirúrgico constituye otro elemento crítico. La cirugía robótica exige una coordinación estrecha entre cirujanos, anestesiólogos, enfermería, personal técnico y responsables de programación quirúrgica. Durante las fases iniciales es habitual que los tiempos de preparación y organización sean superiores a los de procedimientos convencionales, lo que obliga a adaptar agendas, circuitos y dinámicas de trabajo. Cuando esta adaptación no se realiza de forma adecuada, pueden aparecer ineficiencias que dificulten la consolidación del programa.

Una dificultad frecuente en numerosos sistemas sanitarios es la ausencia de una planificación estratégica a medio y largo plazo. En ocasiones, la incorporación de plataformas robóticas responde a oportunidades presupuestarias, iniciativas locales o dinámicas de competencia institucional, sin una valoración suficientemente detallada de las necesidades asistenciales, el volumen potencial de procedimientos o la disponibilidad de profesionales capacitados. Estas circunstancias pueden traducirse en infrautilización de recursos, dispersión de la actividad y dificultades para alcanzar la experiencia necesaria que permita maximizar los beneficios clínicos de la tecnología.

La experiencia internacional muestra que los programas más sólidos suelen desarrollarse a partir de una planificación previa que define objetivos asistenciales, procedimientos prioritarios, equipos responsables, necesidades formativas y sistemas de evaluación de resultados. Desde esta perspectiva, la cirugía robótica debe entenderse como un modelo organizativo además de una herramienta tecnológica. La plataforma constituye únicamente uno de los componentes de un proceso mucho más amplio que incluye formación, coordinación, evaluación y mejora continua.

Para el Sistema Nacional de Salud, una de las principales barreras no reside exclusivamente en la financiación de la tecnología, sino en la ausencia de mecanismos homogéneos de planificación, gobernanza y seguimiento. Sin marcos compartidos que orienten la implantación y permitan evaluar resultados de forma comparable, existe el riesgo de generar diferencias relevantes entre centros y territorios. La sostenibilidad de los programas dependerá, en gran medida, de la capacidad para alinear inversión tecnológica, organización asistencial y medición sistemática de resultados.

9.2. BARRERAS CULTURALES Y PROFESIONALES

Las barreras culturales y profesionales suelen ser menos visibles que las limitaciones económicas o estructurales, pero pueden resultar igualmente determinantes para el éxito de un programa robótico. La incorporación de una nueva tecnología modifica formas de trabajo consolidadas, introduce nuevas dinámicas de colaboración y obliga a revisar procesos asistenciales que, en muchos casos, llevan años funcionando de manera estable.

La percepción del valor de la cirugía robótica no es uniforme entre los profesionales. Mientras algunos equipos consideran que aporta ventajas claras en determinados procedimientos complejos, otros mantienen una visión más prudente debido a la heterogeneidad de la evidencia disponible o a la dificultad para identificar beneficios clínicamente relevantes en determinados contextos. Esta diversidad de opiniones forma parte del proceso normal de adopción de cualquier innovación sanitaria y debe abordarse mediante información transparente, evaluación rigurosa de resultados y discusión basada en evidencia.

La curva de aprendizaje constituye otro factor relevante. La adquisición de competencias robóticas exige tiempo, dedicación y apoyo institucional. Durante las fases iniciales es frecuente que los profesionales perciban una mayor carga de trabajo, una disminución transitoria de la eficiencia o una dependencia más intensa de equipos experimentados. Cuando la formación se concibe como una responsabilidad individual y no como una inversión estratégica del centro, la incorporación de la tecnología suele resultar más lenta y difícil.

La transformación también afecta a la organización del quirófano. La cirugía robótica requiere nuevos modelos de coordinación entre cirujanos, anestesiólogos, enfermería y personal técnico. La seguridad y la eficiencia dependen cada vez más del funcionamiento integrado del equipo que de la actuación individual de un único profesional. Esta realidad obliga a desarrollar culturas de trabajo más colaborativas y orientadas a procesos.

Las reticencias que pueden aparecer durante la implantación no deben interpretarse necesariamente como una oposición al cambio. Con frecuencia expresan

preocupaciones legítimas relacionadas con la seguridad del paciente, la utilización de recursos, la presión asistencial o la incertidumbre sobre los resultados esperados. Ignorar estas inquietudes suele generar rechazo; incorporarlas al proceso de planificación y evaluación favorece una adopción más sólida y sostenible [4].

La experiencia de los programas más consolidados indica que la implicación activa de los profesionales, la transparencia en la comunicación de resultados y la existencia de objetivos compartidos constituyen algunos de los elementos más eficaces para facilitar la transformación organizativa.

9.3. FRAGMENTACIÓN, INEQUIDAD Y DEPENDENCIA LOCAL

Uno de los desafíos más importantes asociados a la expansión de la cirugía robótica es evitar que la innovación tecnológica incremente las diferencias ya existentes dentro del sistema sanitario. Cuando la implantación depende exclusivamente de iniciativas locales o de circunstancias presupuestarias específicas, pueden generarse importantes variaciones entre territorios, hospitales y especialidades.

Las diferencias observadas en disponibilidad de plataformas, volumen de actividad y experiencia acumulada reflejan una realidad presente en numerosos sistemas sanitarios, incluido el SNS. Sin embargo, la equidad no debe interpretarse como la obligación de distribuir de forma uniforme la tecnología entre todos los centros. Desde una perspectiva asistencial, resulta más relevante garantizar que los pacientes puedan acceder a los procedimientos más adecuados cuando exista una indicación clínica justificada, independientemente del lugar donde se encuentre la plataforma o el equipo de referencia.

La dependencia excesiva de iniciativas individuales constituye otra fuente potencial de fragilidad. Los programas que descansan sobre un número reducido de profesionales o sobre una única especialidad pueden verse afectados por cambios organizativos, jubilaciones, movilidad de personal o modificaciones presupuestarias. Por el contrario, los programas multidisciplinarios e institucionalmente integrados suelen mostrar una mayor estabilidad y capacidad de crecimiento a largo plazo.

La fragmentación también dificulta la generación de conocimiento útil para el conjunto del sistema. Cuando cada centro utiliza metodologías diferentes para registrar actividad, medir resultados o evaluar costes, resulta complejo comparar experiencias, identificar buenas prácticas o aprender de los programas con mejores resultados. Esta limitación afecta tanto a la toma de decisiones clínicas como a la planificación sanitaria.

La evaluación de tecnologías complejas como la cirugía robótica requiere marcos comunes que integren resultados clínicos, seguridad, experiencia del paciente, utilización de recursos e impacto organizativo [2,5]. Disponer de sistemas de información comparables y de registros estructurados permitirá identificar con mayor precisión los escenarios donde la tecnología aporta un beneficio diferencial y orientar de forma más eficiente las decisiones futuras del Sistema Nacional de Salud.

9.4. PALANCAS DE CAMBIO E IMPLEMENTACIÓN

La superación de las barreras descritas requiere algo más que inversión tecnológica. La experiencia de los programas robóticos más consolidados muestra que la transformación depende de la existencia de una estrategia clara, capaz de alinear objetivos clínicos, organización asistencial y evaluación de resultados. La implantación de la cirugía robótica resulta más efectiva cuando responde a necesidades identificadas previamente y forma parte de un proyecto institucional con objetivos definidos y mecanismos de seguimiento.

La gobernanza clínica constituye uno de los principales facilitadores del cambio. Los programas robóticos necesitan estructuras responsables de coordinar la actividad, definir criterios de indicación, supervisar la formación, analizar resultados y revisar de forma periódica los procesos asistenciales. La existencia de marcos de gobernanza permite reducir la variabilidad, mejorar la coordinación entre especialidades y favorecer una utilización más eficiente de las plataformas disponibles.

La formación representa igualmente un elemento esencial para la consolidación de los programas. La capacitación progresiva, la simulación, la tutorización

“La cirugía robótica requiere nuevos modelos de coordinación entre cirujanos, anestesiólogos, enfermería y personal técnico. La seguridad y la eficiencia dependen cada vez más del funcionamiento integrado del equipo”

y la evaluación de competencias permiten incorporar la tecnología de forma más segura y minimizar el impacto de las curvas de aprendizaje. La experiencia acumulada demuestra que los programas que invierten de forma continuada en formación suelen alcanzar antes niveles elevados de calidad y estabilidad organizativa.

Otra palanca relevante es la capacidad de medir y analizar resultados. La disponibilidad de indicadores estructurados sobre actividad, seguridad, resultados clínicos, eficiencia, costes y experiencia del paciente permite identificar áreas de mejora y fundamentar las decisiones de planificación sobre información objetiva [5,6]. La medición sistemática transforma la innovación tecnológica en un proceso evaluable y orientado a resultados.

En este contexto, la cirugía robótica aporta además una oportunidad singular para avanzar hacia modelos de cirugía basada en datos. Las plataformas actuales generan información detallada sobre los procedimientos, los tiempos operatorios, la utilización de recursos y el desempeño técnico. La integración progresiva de herramientas de analítica avanzada e inteligencia artificial

puede facilitar nuevas formas de aprendizaje organizativo, contribuir a optimizar la utilización de recursos y mejorar la toma de decisiones clínicas y estratégicas [9,10].

La implantación escalonada constituye otro elemento clave. No todas las especialidades, procedimientos o centros presentan las mismas necesidades ni disponen del mismo grado de experiencia. Los modelos de crecimiento progresivo permiten consolidar equipos, validar resultados y ampliar la actividad de forma ordenada conforme aumenta la madurez del programa.

Finalmente, la participación activa de los profesionales resulta imprescindible para consolidar cualquier proceso de transformación. Los cambios organizativos suelen ser más sólidos cuando los clínicos intervienen en la definición de objetivos, en la evaluación de resultados y en la identificación de oportunidades de mejora. La cirugía robótica no debe implantarse como una iniciativa exclusivamente tecnológica, sino como un proyecto compartido entre profesionales, gestores e instituciones sanitarias.

9.5. CONDICIONES PARA UNA IMPLANTACIÓN SOSTENIBLE Y GESTIÓN DEL RIESGO

La sostenibilidad de los programas de cirugía robótica depende de su capacidad para generar resultados clínicos relevantes, mantener niveles adecuados de seguridad y utilizar de forma eficiente los recursos disponibles. La simple incorporación de una plataforma tecnológica no garantiza ninguno de estos objetivos. La experiencia internacional muestra que los programas más sólidos son aquellos que definen con claridad sus indicaciones prioritarias, establecen criterios de selección adecuados y evalúan de manera continuada su actividad y resultados.

Uno de los factores más importantes para garantizar la sostenibilidad es la relación entre volumen de actividad y capacidad instalada. Los programas con una utilización insuficiente pueden tener dificultades para justificar la inversión realizada, mantener las competencias de los equipos y alcanzar niveles adecuados de eficiencia. Por el contrario, los modelos que favorecen

el uso compartido de las plataformas entre varias especialidades suelen optimizar mejor los recursos disponibles y facilitar la consolidación de equipos con experiencia.

La gestión del riesgo adquiere una importancia especial durante las fases iniciales de implantación. La introducción de nuevas plataformas o la incorporación de procedimientos complejos puede asociarse a curvas de aprendizaje, incidencias técnicas o necesidades adicionales de supervisión. Estos riesgos no pueden eliminarse completamente, pero sí reducirse mediante una adecuada selección de pacientes, programas estructurados de formación, tutorización clínica y monitorización continua de resultados.

La evaluación económica constituye igualmente una condición necesaria para la sostenibilidad. El análisis del valor generado por la cirugía robótica debe contemplar no solo los costes directos de los procedimientos, sino también su impacto sobre las complicaciones, la recuperación funcional, la estancia hospitalaria, la utilización de recursos y los resultados clínicos obtenidos a medio y largo plazo. La relevancia de estos factores puede variar considerablemente entre procedimientos, por lo que la evaluación debe realizarse siempre en función de cada indicación concreta y del contexto organizativo en el que se aplica.

La capacidad de adaptación representa otro requisito fundamental. El mercado de la cirugía robótica está experimentando una rápida evolución, con la aparición de nuevas plataformas, modelos de financiación más flexibles y un incremento progresivo de la competencia entre fabricantes. Los sistemas sanitarios deberán adaptarse a este escenario cambiante manteniendo criterios rigurosos de evaluación y sin comprometer la continuidad asistencial.

Para el Sistema Nacional de Salud, una implantación sostenible requiere combinar liderazgo clínico, planificación estratégica, evaluación independiente y aprendizaje continuo. El objetivo final no debería medirse por el número de plataformas disponibles, sino por la capacidad de ofrecer a los pacientes procedimientos seguros, eficaces y accesibles allí donde la tecnología aporte un beneficio clínico y organizativo demostrable.

Consideraciones finales

La implantación de la cirugía robótica en el Sistema Nacional de Salud no depende solo de superar una barrera económica. También exige afrontar limitaciones organizativas, culturales, profesionales y territoriales que pueden condicionar de forma decisiva sus resultados. La falta de coordinación, la variabilidad en la formación, la fragmentación de los datos o las diferencias de acceso entre centros pueden reducir el impacto potencial de la tecnología si no se abordan desde una estrategia compartida.

Las palancas de transformación son conocidas, pero requieren continuidad y compromiso institucional. La gobernanza clínica, la formación estructurada, la evaluación basada en resulta-

dos, el uso inteligente de los datos, la coordinación territorial y la participación activa de los profesionales permiten avanzar hacia modelos de implantación más ordenados, evaluables y sostenibles.

El reto para el SNS consiste en evitar dos extremos: incorporar la cirugía robótica de forma acrítica o frenar su desarrollo por una resistencia excesiva al cambio. Su consolidación debería apoyarse en criterios de calidad, seguridad, equidad y resultados, integrándose dentro de una transformación asistencial más amplia. La pregunta relevante no es cuántas plataformas deben incorporarse, sino cómo, dónde y para qué pacientes pueden generar un beneficio clínico y organizativo real.

Referencias bibliográficas

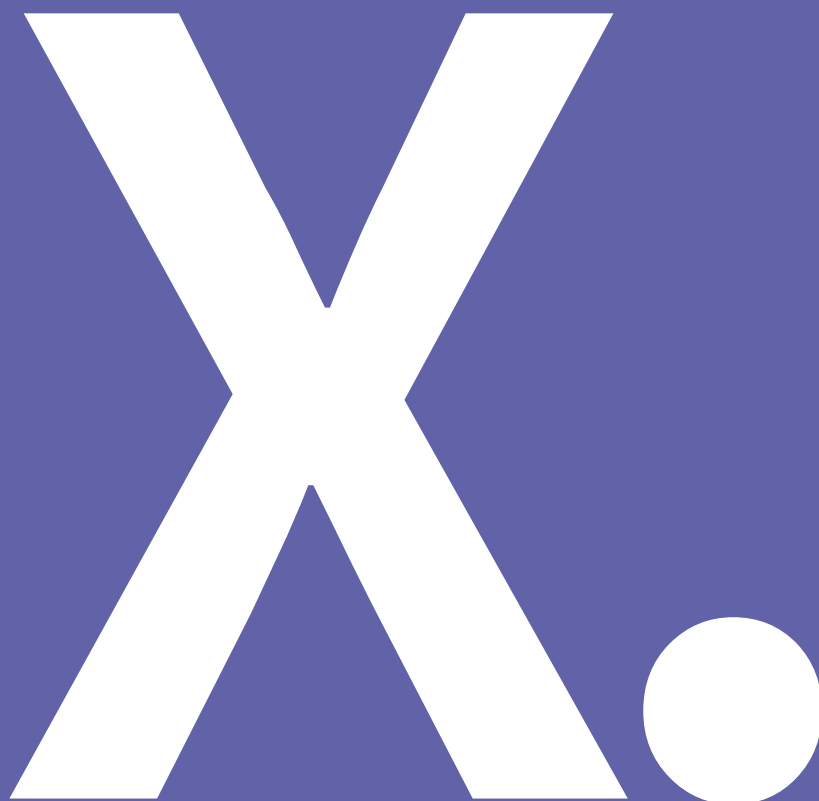
- **1.** Lawrie L, Gillies K, Duncan E, Davies L, Beard D, Campbell MK. Barriers and enablers to the effective implementation of robotic assisted surgery. *PLoS One*. 2022;17(8):e0273696. doi:10.1371/journal.pone.0273696.
- **2.** Erskine J, Abrishami P, Charter R, Cicchetti A, Culbertson R, Faria E, et al. Best practice considerations on the assessment of robotic assisted surgical systems: results from an international consensus expert panel. *Int J Technol Assess Health Care*. 2023;39(1):e39. doi:10.1017/S0266462323000314.
- **3.** Zhang T, Zhong Y, Zeng J, Liu GG. Health technology assessment of surgical robots: a mini-review of a rapidly evolving field. *Front Public Health*. 2025;13:1672583. doi:10.3389/fpubh.2025.1672583.
- **4.** Dixon-Woods M, McNicol S, Martin G. Ten challenges in improving quality in healthcare: lessons from the Health Foundation's programme evaluations and relevant literature. *BMJ Qual Saf*. 2012;21(10):876-884. doi:10.1136/bmjqs-2011-000760.
- **5.** National Institute for Health and Care Excellence. Robot-assisted surgery for orthopaedic procedures: Early value assessment (HTE22). London: NICE; 2025.
- **6.** NHS England. Getting It Right First Time. Implementation of robotically assisted surgery in England. London: NHS England; 2025.
- **7.** Damschroder LJ, Reardon CM, Widerquist MAO, Lowery J. The updated Consolidated Framework for Implementation Research based on user feedback. *Implement Sci*. 2022;17(1):75. doi:10.1186/s13012-022-01245-0.
- **8.** Porter ME. What is value in health care? *N Engl J Med*. 2010;363(26):2477-2481. doi:10.1056/NEJMp1011024.
- **9.** Maier-Hein L, Vedula SS, Speidel S, Navab N, Kikinis R, Park A, et al. Surgical data science for next-generation interventions. *Nat Biomed Eng*. 2017 Sep;1(9):691-696. doi:10.1038/s41551-017-0132-7.
- **10.** Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Ann Surg*. 2018 Jul;268(1):70-76. doi: 10.1097/SLA.0000000000002693.

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO, EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

X. Recomendaciones estratégicas para el SNS

- 10.1** Recomendaciones a nivel sistema y planificación estratégica
- 10.2** Recomendaciones a nivel centros y organización asistencial
- 10.3** Recomendaciones a nivel profesional y práctica clínica
- 10.4** Priorización, hoja de ruta y criterios de decisión
- 10.5** Indicadores de seguimiento y evaluación del impacto



Recomendaciones
estratégicas
para el SNS

X.

Recomendaciones estratégicas para el SNS

En pocas décadas, la cirugía robótica ha pasado de ser una promesa tecnológica a ocupar un lugar firme en el arsenal quirúrgico de muchos hospitales. La evidencia acumulada confirma que puede ofrecer beneficios reales para los pacientes, los profesionales y las organizaciones sanitarias en determinados procedimientos. Pero la misma evidencia advierte que esos beneficios no son automáticos: dependen, en gran medida, de cómo se implanta la tecnología, de quién la utiliza y de si existe una cultura de evaluación rigurosa que acompañe su desarrollo.

A lo largo de este documento hemos analizado resultados clínicos, seguridad, indicaciones, organización asistencial, formación, economía de la salud y barreras de implantación. La conclusión que atraviesa todos esos análisis es siempre la misma: la tecnología, por sí sola, no mejora a los pacientes. Lo que marca la diferencia es el contexto en el que se usa: los profesionales que la manejan, las estructuras que la sostienen y los mecanismos que permiten aprender de los resultados [1,2].



Conviene recordar, además, que la cirugía robótica no es una tecnología homogénea. En cirugía digestiva, urológica, ginecológica o torácica su valor se expresa sobre todo en la calidad de la disección, la preservación anatómica y la sutura intracorpórea; en cirugía ortopédica y traumatología, en cambio, reside en la planificación tridimensional, la navegación y la precisión en el posicionamiento del implante. Son objetivos clínicos distintos, y esa diferencia condiciona las indicaciones, la formación y los indicadores con los que debe evaluarse cada programa.

Para el Sistema Nacional de Salud (SNS), el desafío va más allá de adquirir nuevas plataformas. Se trata de integrar la innovación tecnológica dentro de una lógica de valor: mejorar resultados en salud, reducir la variabilidad entre centros, garantizar que el acceso no dependa del código postal del paciente y hacer un uso eficiente de los recursos que son de todos. La cirugía robótica debe ser una herramienta al servicio de la calidad asistencial, no un fin en sí misma.



Este capítulo traduce todo lo anterior en recomendaciones concretas para quienes toman decisiones a nivel sistema, en los centros sanitarios y en la práctica clínica diaria.

10.1. PENSAR EN SISTEMA, NO SOLO EN CENTROS

Uno de los errores más frecuentes en la adopción de tecnología sanitaria es dejar que su expansión se produzca de forma desordenada, impulsada por iniciativas aisladas de cada hospital o por la presión comercial de los fabricantes. La cirugía robótica no debería seguir ese patrón.

Lo que el SNS necesita es una estrategia nacional coherente, que identifique los procedimientos donde la tecnología aporta más valor, defina criterios homogéneos de calidad y establezca objetivos de implantación acordes con las necesidades asistenciales reales de cada territorio. Eso implica tomar decisiones basadas en evidencia científica, en carga de enfermedad y en impacto esperado sobre resultados clínicos y organizativos [2,4].

También implica coordinar. Las comunidades autónomas y los centros sanitarios tienen mucho que ganar compartiendo experiencias, evaluando resultados de forma conjunta y aprendiendo colectivamente de lo que funciona y de lo que no. Sin esa coordinación, la variabilidad territorial se convierte en desigualdad: algunos pacientes acceden a la mejor atención disponible y otros, con la misma condición clínica, no.

Una prioridad concreta y urgente es la creación de un registro nacional de cirugía robótica. Sin datos comunes, homogéneos y comparables, es imposible saber si la inversión está generando valor. Un registro bien diseñado permitiría conocer la actividad real, los resultados clínicos, los indicadores de seguridad, el uso de recursos y la experiencia de los pacientes en todos los centros del sistema. Sería, además, una fuente irremplazable de conocimiento científico generado desde la práctica clínica real.

Para que ese registro sea útil, hace falta que los sistemas de información de los distintos centros y especialidades puedan hablar entre sí. La interoperabilidad no es un lujo tecnológico: es una condición indispensable para la mejora continua y para tomar decisiones con criterio [1,5].

Por último, ese reconocimiento del valor de la cirugía robótica debería traducirse en su integración estable dentro de la cartera de servicios del SNS y en su alineación con las prioridades del sistema —oncología, cronicidad, innovación—, de modo que su incorporación deje de depender de iniciativas aisladas. Ese marco estable debe acompañarse de modelos de evaluación continua que integren resultados clínicos, experiencia del paciente, impacto organizativo y eficiencia económica: la pregunta no es solo si la tecnología funciona, sino si sigue funcionando bien, para quién y a qué coste.

10.2. CONSTRUIR PROGRAMAS, NO ADQUIRIR MÁQUINAS

Incorporar un robot quirúrgico es una decisión importante. Pero la decisión más importante no es la compra: es qué tipo de programa clínico se va a construir alrededor de esa tecnología. Los hospitales que obtienen mejores resultados no son los que tienen el robot más moderno, sino los que lo han integrado dentro de un modelo organizativo sólido, con liderazgo clínico claro y objetivos bien definidos [3,5].

Los centros que incorporen cirugía robótica deberían contar con estructuras de gobernanza responsables de coordinar el uso de las plataformas entre especialidades, supervisar la formación, monitorizar resultados y promover la mejora continua. Esas estructuras deben incluir voces clínicas, organizativas y técnicas: la visión unidisciplinar rara vez es suficiente para gestionar bien la complejidad de un programa robótico. Esa gobernanza debe contar también con los profesionales. Las resistencias que a veces acompañan a la introducción de la tecnología no deben interpretarse como simple oposición al cambio: con frecuencia reflejan preocupaciones legítimas sobre la seguridad, la carga asistencial o la solidez de la evidencia. Reconocerlas e incorporar a los clínicos en el diseño, el desarrollo y la evaluación del programa es la mejor forma de gestionarlas [3,6].

La planificación de recursos es otro aspecto crítico. Incorporar cirugía robótica sin organizar adecuadamente los quirófanos, el personal, los circuitos asistenciales y el soporte técnico es una receta para la frustración. La utilización compartida de plataformas por varias especialidades puede ayudar a amortizar la inversión y a hacer los programas más sostenibles.

“La decisión más importante no es la compra de un robot quirúrgico: es qué tipo de programa clínico se va a construir alrededor de esa tecnología”

El programa no descansa solo en el cirujano de consola. La seguridad y la curva de aprendizaje dependen del equipo completo —anestesia, enfermería instrumentista y de quirófano y personal técnico—, por lo que la formación y la consolidación deben dirigirse a todo el equipo y no únicamente a quien opera.

El valor del programa se materializa cuando la cirugía robótica se integra en el proceso asistencial completo, y no como un acto aislado. Su incorporación a vías de recuperación intensificada (ERAS) —optimización preoperatoria, analgesia multimodal, movilización precoz y alta protocolizada— es lo que traduce las ventajas técnicas en mejores resultados para el paciente.

Todo programa robótico debería definir desde el principio qué va a medir y cómo. Los indicadores de actividad, calidad y eficiencia no son un trámite burocrático: son la única forma de saber si el programa está funcionando como se esperaba, dónde hay oportunidades de mejora y cómo evoluciona la curva de aprendizaje de los equipos. La transparencia en los resultados, compartida con los profesionales y progresivamente con los pacientes, es una señal de madurez institucional [9].

Por encima de todo, los centros deberían entender el trabajo en red como un activo estratégico. Los modelos colaborativos permiten difundir conocimiento, desarrollar programas formativos conjuntos, acometer proyectos de investigación que ningún hospital podría afrontar solo y concentrar los procedimientos más complejos allí donde existe mayor experiencia y mejores resultados. Esta concentración no responde solo a un criterio de eficiencia, sino de seguridad: la relación entre el volumen

de actividad y los resultados está bien documentada en cirugía compleja, y la robótica no es una excepción. Garantizar el acceso sin fragmentar la actividad por debajo de umbrales mínimos seguros exige redes asistenciales y criterios explícitos de derivación entre centros [10].

10.3 USAR BIEN LA TECNOLOGÍA: CRITERIOS, FORMACIÓN Y CULTURA DE MEJORA

La cirugía robótica no es apropiada para todos los procedimientos ni para todos los pacientes. Utilizarla bien requiere criterio clínico: saber cuándo aporta un beneficio real y cuándo la alternativa convencional es igual o superior. Tanto la infrautilización como la utilización indiscriminada son problemas reales, y ambos tienen consecuencias para los pacientes y para el sistema. Por eso conviene que cada programa defina de forma explícita no solo sus indicaciones, sino también su indicación negativa: qué no debe operarse con robot en un momento dado. Y la selección del paciente debería valorar de forma estructurada su reserva funcional, su fragilidad (que puede favorecer un abordaje mínimamente invasivo pero también desaconsejar procedimientos prolongados) y su anatomía individual, ya que cirugías previas, obesidad o distorsión del campo pueden convertir un caso estándar en uno de alta complejidad.

La formación es, probablemente, el factor individual que más influye en los resultados. No basta con saber manejar los controles del robot: la competencia real incluye formación teórica, entrenamiento en simulación, supervisión clínica progresiva y evaluación objetiva de habilidades. La acreditación inicial es solo el punto de partida; mantener las competencias a lo largo del tiempo exige programas de actualización continua que vayan más allá del cumplimiento formal. La industria puede contribuir al entrenamiento técnico sobre la plataforma, pero la definición de competencias, la acreditación clínica y la evaluación de resultados deben permanecer bajo liderazgo profesional e institucional, mediante programas estructurados, independientes y auditables.

La práctica clínica debe apoyarse en protocolos consensuados y en la mejor evidencia disponible. Y esa práctica debe considerar no solo el aspecto técnico del

procedimiento, sino también quién es el paciente, cuál es la complejidad del caso, qué alternativas existen y cuáles son los resultados esperados de forma realista.

Los profesionales que utilizan cirugía robótica deberían revisar periódicamente sus propios resultados y los de su equipo. No como ejercicio de control externo, sino como parte de una cultura de mejora continua que considera el análisis crítico de los datos como una obligación profesional y una fuente de aprendizaje. La transparencia individual y colectiva no debilita la confianza de los pacientes: al contrario, la refuerza [2,9].

Y hay una dimensión adicional que merece mención especial: los clínicos no son solo usuarios de la tecnología, sino generadores de conocimiento. Participar en registros, colaborar en proyectos de investigación, contribuir a auditorías clínicas y publicar resultados son formas concretas de mejorar la evidencia disponible y de facilitar que otros centros y otros pacientes se beneficien de lo aprendido.

10.4. PRIORIZAR CON CRITERIO Y APRENDER SOBRE LA MARCHA

No todos los procedimientos quirúrgicos tienen el mismo nivel de evidencia sobre los beneficios de la robótica. No todos los centros tienen el mismo punto de partida en términos de experiencia, infraestructura o capacidad formativa. Y no todos los contextos asistenciales requieren el mismo ritmo de incorporación. Reconocer esa diversidad es el primer paso para planificar bien.

La implantación debería ser progresiva y priorizada. Una primera fase lógica es consolidar los procedimientos donde existe mayor experiencia acumulada y evidencia más consistente sobre seguridad y beneficio clínico. Desde esa base, la expansión puede extenderse a nuevas indicaciones a medida que los equipos maduran y emergen nuevos datos. Esta progresión gana solidez cuando se apoya en un marco estructurado de evaluación de la innovación quirúrgica, como el marco IDEAL, que propone estudiar las innovaciones desde su introducción hasta su consolidación mediante registros prospectivos, evaluación estructurada y seguimiento [11].

Las decisiones sobre incorporar o ampliar programas son decisiones complejas que no se pueden reducir a un solo criterio. Resultados clínicos, seguridad,

volumen de actividad, capacidad formativa, impacto organizativo, disponibilidad de recursos, sostenibilidad económica: ninguno de estos factores, considerado de forma aislada, es suficiente. La buena decisión incorpora todas esas dimensiones y las pondera de forma explícita [2,4].

Toda estrategia de implantación necesita mecanismos para revisar periódicamente si las cosas van como se esperaba, identificar desviaciones y ajustar el rumbo. La flexibilidad y la capacidad de aprender de los errores no son señales de debilidad estratégica: son condiciones necesarias para que cualquier proceso de innovación sea sostenible a largo plazo. Una hoja de ruta rígida que no se revisa es solo papel [6].

Y no puede olvidarse la dimensión de equidad. La expansión de la cirugía robótica debe contribuir a reducir desigualdades, no a ampliarlas. Si la tecnología llega antes y mejor a algunos centros o regiones que a otros por razones que no tienen que ver con criterios clínicos ni de eficiencia, el sistema está fallando en uno de sus compromisos fundamentales.

10.5. MEDIR LO QUE IMPORTA: INDICADORES PARA UNA EVALUACIÓN REAL

Toda estrategia de implantación que no incluya una estrategia de evaluación es incompleta. Saber si la cirugía robótica está generando valor real exige datos, y eso significa definir desde el principio qué se va a medir, cómo y con qué periodicidad.

Los indicadores clínicos son el núcleo de cualquier sistema de evaluación. Las complicaciones intraoperatorias y postoperatorias, las tasas de conversión a cirugía abierta, las reintervenciones, la estancia hospitalaria, los resultados funcionales y los resultados específicos de cada procedimiento permiten valorar si la tecnología está funcionando como se espera en términos de seguridad y eficacia.

Pero los resultados clínicos tradicionales no cuentan toda la historia. Lo que vive el paciente, cómo se recupera, cómo valora su calidad de vida después de la intervención, si ha podido volver a su vida habitual: esas dimensiones son tan importantes como la tasa de complicaciones, y no siempre van de la mano. Las medidas

reportadas por los propios pacientes (PROMs) deben incorporarse de forma progresiva y sistemática en la evaluación de los programas robóticos, especialmente en aquellos donde la calidad de vida y la recuperación funcional son objetivos centrales.

Desde una perspectiva organizativa, tiene sentido monitorizar la actividad quirúrgica, el grado de utilización de las plataformas, los tiempos de procedimiento, la productividad del bloque quirúrgico y la capacidad formativa de los programas. Estos datos permiten identificar ineficiencias, optimizar recursos y evaluar si el modelo organizativo está funcionando bien.

Para que la evaluación trascienda cada centro, el SNS debería acordar un conjunto mínimo común de indicadores, homogéneo y comparable, que dé sentido al registro nacional y permita el benchmarking. A los indicadores clínicos, de experiencia y organizativos conviene añadir, en clave de sistema, indicadores de adopción y acceso —difusión territorial, volumen poblacional, tiempos de espera y desigualdades entre territorios—, que son los que conectan la evaluación con la equidad y permiten valorar no solo si la tecnología funciona, sino si llega a quien la necesita.

La evaluación económica merece un tratamiento riguroso y contextualizado. Los costes directos de la tecnología son visibles y fáciles de cuantificar; los beneficios son más difíciles de medir pero igualmente reales: menos complicaciones, recuperación más rápida, menos reingresos, mejor utilización del bloque quirúrgico. Cualquier análisis económico honesto debe contemplar ambas dimensiones, y hacerlo siempre en relación con indicaciones concretas y en el contexto asistencial específico en el que se aplica [1,4].

Una oportunidad que todavía no se está aprovechando suficientemente es la que ofrecen los propios datos que generan las plataformas robóticas. Integrar esa información con herramientas de análisis avanzado, ciencia de datos quirúrgicos e inteligencia artificial puede permitir modelos de evaluación más precisos, comparables y orientados a la mejora continua. Es un camino que el SNS debería explorar de forma activa [7,8].

En definitiva: medir bien lo que importa no es una tarea técnica secundaria. Es la condición que permite saber si la inversión en cirugía robótica está sirviendo para algo, y para qué y para quién.

Consideraciones finales

La cirugía robótica puede ser una herramienta muy valiosa. Eso ya no está en discusión: la evidencia disponible lo respalda con suficiente consistencia para determinados procedimientos y contextos. Lo que sigue abierto es la pregunta sobre cómo conseguir que ese valor potencial se materialice de forma real, equitativa y sostenible dentro del SNS.

Las recomendaciones de este capítulo no son un catálogo de buenas intenciones. Son una hoja de ruta práctica para quienes tienen que tomar decisiones: planificar con estrategia, gobernar con responsabilidad, formar con rigor, coordinar con voluntad y evaluar con honestidad. Cuando esos cinco elementos actúan de forma simultánea, la cirugía robótica despliega todo su valor; es ese marco el que permite impulsar su incorporación con confianza y aprovechar plenamente su potencial.

Crear sistemas comunes de información, registros nacionales, indicadores homogéneos y mecanismos de aprendizaje compartido no es una tarea glamorosa. Pero es probablemente la que más impacto tendrá a largo plazo: reducir la variabilidad injustificada, mejorar la equidad y generar el conocimiento colectivo que el sistema necesita para seguir mejorando.

El objetivo del SNS es mejorar la salud de los pacientes, reforzar su seguridad, garantizar que el acceso a la mejor atención disponible no dependa de dónde viven y hacerlo de forma eficiente con los recursos que son de todos. La cirugía robótica, implantada con criterio, evaluada con rigor y gestionada con honestidad, contribuye de forma decisiva a ese objetivo; por eso su incorporación ordenada al sistema merece ser impulsada con determinación.

Referencias bibliográficas

- **1.** Porter ME. What is value in health care? *N Engl J Med.* 2010;363(26):2477-2481.
- **2.** Erskine J, Abrishami P, Charter R, et al. Best practice considerations on the assessment of robotic assisted surgical systems. *Int J Technol Assess Health Care.* 2023;39(1):e39.
- **3.** Lawrie L, Gillies K, Duncan E, et al. Barriers and enablers to the effective implementation of robotic assisted surgery. *PLoS One.* 2022;17(8):e0273696.
- **4.** Zhang T, Zhong Y, Zeng J, Liu GG. Health technology assessment of surgical robots: a mini-review. *Front Public Health.* 2025;13:1672583.
- **5.** NHS England. Getting It Right First Time. Implementation of robotically assisted surgery in England. London: NHS England; 2025.
- **6.** Damschroder LJ, Reardon CM, Widerquist MAO, Lowery J. The updated Consolidated Framework for Implementation Research. *Implement Sci.* 2022;17(1):75.
- **7.** Maier-Hein L, Vedula SS, Speidel S, et al. Surgical data science for next-generation interventions. *Nat Biomed Eng.* 2017;1(9):691-696.
- **8.** Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Ann Surg.* 2018;268(1):70-76.
- **9.** Dixon-Woods M, McNicol S, Martin G. Ten challenges in improving quality in healthcare. *BMJ Qual Saf.* 2012;21(10):876-884.
- **10.** Birkmeyer JD, Siewers AE, Finlayson EVA, et al. Hospital volume and surgical mortality in the United States. *N Engl J Med.* 2002;346(15):1128-1137.
- **11.** McCulloch P, Altman DG, Campbell WB, et al. No surgical innovation without evaluation: the IDEAL recommendations. *Lancet.* 2009;374(9695):1105-1112.

INFORME II

CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD: IMPACTO CLÍNICO,
EFICIENCIA Y GENERACIÓN DE VALOR PARA EL PACIENTE Y EL SISTEMA SANITARIO

XI. Conclusiones

XI.

Conclusiones

XI.

Conclusiones

“La cirugía robótica se ha consolidado como una tecnología relevante dentro del Sistema Nacional de Salud, con un grado de implantación creciente y presencia en múltiples especialidades quirúrgicas”

11.1. POSICIONAMIENTO GENERAL DE LA CIRUGÍA ROBÓTICA EN EL SNS

La cirugía robótica se ha consolidado como una tecnología relevante dentro del Sistema Nacional de Salud (SNS), con un grado de implantación creciente y presencia en múltiples especialidades quirúrgicas.

Su valor, sin embargo, no puede entenderse como inherente a la tecnología, sino como resultado de su aplicación en contextos clínicos y organizativos específicos.

El análisis realizado pone de manifiesto que el impacto de la cirugía robótica es variable y depende de forma determinante de factores como la indicación clínica, la experiencia de los equipos, el volumen de actividad y el modelo organizativo en el que se integra. Esta variabilidad constituye una característica estructural de su proceso de adopción en el SNS.

11.2. EVIDENCIA SOBRE IMPACTO CLÍNICO, SEGURIDAD Y EFICIENCIA

Desde el punto de vista clínico, la cirugía robótica ofrece beneficios consistentes frente a la cirugía abierta en determinados procedimientos, especialmente en términos de menor agresión quirúrgica y recuperación postoperatoria.

Su valor diferencial frente a la laparoscopia se expresa en función del contexto clínico, lo que refuerza la importancia de un uso individualizado y basado en la indicación.

En términos de seguridad, la cirugía robótica presenta un perfil comparable al de otros abordajes cuando se desarrolla en entornos organizados y con equipos adecuadamente formados. Este hecho subraya el papel crítico de la capacitación, la estandarización de procesos y la experiencia acumulada en la obtención de resultados seguros.

La utilización eficiente de las plataformas permite reforzar la sostenibilidad del sistema, poniendo de manifiesto la importancia de una adecuada planificación en la asignación y el uso de los recursos.

11.3. IMPLICACIONES ORGANIZATIVAS Y DEL SISTEMA SANITARIO

La cirugía robótica introduce implicaciones organizativas relevantes, al requerir coordinación entre equipos, adaptación del bloque quirúrgico y modelos de trabajo estructurados. El rendimiento de los programas no depende únicamente de la tecnología disponible, sino de la capacidad de integración en el proceso asistencial y del grado de madurez organizativa de los centros.

Uno de los principales retos identificados es la existencia de variabilidad significativa en el acceso y utilización de la cirugía robótica, con diferencias entre territorios y centros que pueden tener impacto en términos de equidad, eficiencia y resultados clínicos.

Esta variabilidad no se limita a la disponibilidad de tecnología, sino que incluye aspectos organizativos clave como la formación, la estructuración de los programas y la evaluación de resultados. En este contexto, resulta necesario avanzar hacia modelos más homogéneos de evaluación y organización, sin implicar necesariamente uniformidad en la adopción.

11.4. IMPLICACIONES ESTRATÉGICAS PARA EL SNS

De forma consistente a lo largo del informe, se observa que el valor de la cirugía robótica se genera en la combinación de factores clínicos, organizativos y técnicos.

Este enfoque implica incluir en el análisis desde la adopción tecnológica hasta la evaluación de resultados y del valor aportado al paciente y al sistema sanitario.

En este contexto, el principal reto para el SNS no es únicamente la incorporación de la cirugía robótica, sino garantizar que su utilización se alinee con criterios de evaluación, planificación y sostenibilidad, permitiendo maximizar su impacto en aquellos escenarios donde puede aportar mayor valor.

La evolución futura de la cirugía robótica en el SNS deberá orientarse hacia modelos organizativos que permitan medir resultados, reducir variabilidad y favorecer un uso eficiente y equitativo de los recursos, integrando la tecnología dentro de estrategias asistenciales más amplias y basadas en valor.







Hospitalización



Consultas



Área Quirúrgica



