



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

**MÁSTER EN DIRECCIÓN DE SISTEMAS Y TIC DE LA SALUD Y EN  
DIGITALIZACIÓN SANITARIA  
CURSO ACADÉMICO 2023-2024**

### **LA CIRUGÍA ROBÓTICA:**

Efectividad de la Cirugía Robótica frente a la Cirugía Tradicional en  
determinados procedimientos quirúrgicos.

#### **AUTORES:**

Calvo Figueroa, Iván Carlos

Díaz García, Ana María

Serrano Garcia-Ortega, Juan José

#### **TUTORES:**

Blanco Rubio, Ángel

Leal Pozuelo, José María

En Madrid, a 27 de septiembre de 2024

## Índice

Glosario de términos.....	2
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1 Metodología Aplicada .....	8
<b>II. LA CIRUGIA ROBOTICA .....</b>	<b>9</b>
2.1 Origen y evolución de la robótica.....	9
2.1.1 Edad antigua.....	9
2.1.2 Edad media y edad moderna. ....	10
2.1.3 Edad contemporánea. ....	11
2.2 Robótica en la Salud .....	12
2.2.1 Cirugía Robótica .....	12
2.2.2 Otras Aplicaciones de la Robótica en Salud .....	14
2.2.2 Situación global en la sanidad pública y privada.....	19
2.2.3 Situación en España .....	20
2.2.4 Robot Da Vinci .....	23
2.3 Análisis DAFO de la Cirugía Robótica .....	27
2.4 Efectividad de la cirugía robótica vs cirugía tradicional .....	30
2.3.2 Costes y Beneficios.....	30
2.3.3 Comparación de otras técnicas: Cirugía Laparoscópica .....	33
<b>III. CUESTIONES ÉTICAS Y DE SEGURIDAD .....</b>	<b>35</b>
3.1 Unión Europea y Normativa.....	35
3.1.1 Proyecto RoboLaw.....	36
3.2 Impacto ético en la innovación medica .....	36
<b>IV. NUEVAS APLICACIONES.....</b>	<b>37</b>
4.1 Cirugía Remota (5G). ....	37
4.2 Nanorrobótica .....	40
<b>V. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>43</b>
6.1 Doctrina .....	43
6.2 Fuentes normativas y reglamentarias .....	45
6.3 Referencias Web.....	46
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>47</b>

## Glosario de términos

---

Abreviatura	Significado
SNS	Sistema Nacional de Salud
IA	Inteligencia Artificial
BOE	Boletín Oficial del Estado
FDA	Food and Drug Administration
UE	Unión Europea
CE	Certificación Europea
LESS	Procedimientos laparoendoscópicos Puerto Unico
Robolaw	Regulación de las tecnologías emergentes en Europa: Robótica frente a la ley y la ética

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ctesibio de Alejandría .....	9
Ilustración 2. Grabado de André Thevet, 1584 .....	9
Ilustración 3. Eolípila de Herón de Alejandría .....	9
Ilustración 4. Reproducción del sismógrafo de ZhangHeng 1 .....	10
Ilustración 5. Reloj astronómico “original” de la Catedral de Estrasburgo.....	10
Ilustración 6. Reloj elefante de Al-Jazari .....	10
Ilustración 7. El Caballero Mecánico .....	10
Ilustración 8. Ejemplar conservado de UNIMATE .....	11
Ilustración 9. Imagen de Sojourner tomada por el Pathfinder .....	11
Ilustración 10. BigDog Architecture .....	12
Ilustración 11. Arthrobot. ....	13
Ilustración 12. Puma 560 .....	13
Ilustración 13. Robodoc.....	13
Ilustración 14. Version de Lokomat actual.....	14
Ilustración 15. Equipo servicio de rehabilitación del Hospital Sant Joan de Déu.....	14
Ilustración 16. Takanori Shibata, creador PARO (España 2023).....	15
Ilustración 17. Uso de Robear en una clínica japonesa .....	15
Ilustración 18. Imagen de Understanding Smart Sensors, 3rd Edition.....	16
Ilustración 19. Sistema Artemis .....	16
Ilustración 20. Imágenes de catálogo de InTouch Health .....	17
Ilustración 21. Bomba de insulina en remoto de Medtronic .....	18
Ilustración 22. Sistema XR2 de Omnicell .....	18
Ilustración 23. Sistema PillPick del Hospital Sant Joan de Reus .....	19
Ilustración 24. ROSA (Robotic Surgery Assistant).....	22
Ilustración 25. Robot Da Vinci.....	23
Ilustración 26. Componentes del robot Da Vinci .....	24
Ilustración 27. Evolución Cirugía Robótica-Urología (Da Vinci) .....	25
Ilustración 28. Hospital Clínico San Carlos (Intervención Robot Da Vinci) .....	26
Ilustración 29. Evolución Cirugía Robótica-Ginecología (Da Vinci) .....	26
Ilustración 30. Extremo de mando Microhand y quirofano.....	38
Ilustración 31. Telecirugía Fundació Puigvert BCN .....	38
Ilustración 32. Charles Lindbergh 1927 .....	39
Ilustración 33. Sendos extremos de la cirugía Lindbergh .....	39
Ilustración 34. Nanorrobots en el tumor visualizado por microscopía.....	40

## Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis DAFO .....	27
Tabla 2. Evaluación económica Cirugía Da Vinci .....	29
Tabla 3. Comparación de Costes entre Cirugía Robótica y Cirugía Tradicional .....	31
Tabla 4. Comparación de Beneficios entre Cirugía Robótica y Cirugía Tradicional.....	32
Tabla 5 Ventajas Cirugia Robótica VS Cirugía Tradicional .....	32
Tabla 6. Ventajas Cir. por laparoscopia tradicional VS Cir. asistida por Robot .....	33
Tabla 7. Desventajas Cir. Laparoscopia tradicional VS asistida por Robot.....	34

## Índice de Figuras

---

Figura 1. Plataformas de Cirugía Robótica .....	21
Figura 2. Principales Intervenciones Da Vinci-C General .....	25
Figura 3. Principales Intervenciones Da Vinci-Urología .....	25
Figura 4. Principales Intervenciones Da Vinci-Ginecología .....	26
Figura 5. Esquema infraestructura del ensayo .....	38

## Anexos

---

Anexo 1. Autorización de la lectura y defensa del Trabajo Fin de Máster. ....	47
Anexo 2. Resultados y ventajas de la cirugía laparoscópica, robótica y endoscópica de los últimos años (2019-2023). ....	48
Anexo 3. Cansancio percibido por el cirujano principal según la vía de abordaje y el año de realización. Datos expresados en medias y barras de error típico. ....	51
Anexo 4.. Aspectos éticos y sociales de la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías mediadas por la IA en Medicina y Salud ordenados en tres grupos (G1, G2 y G3) .....	51

## RESUMEN

El crecimiento de la industria y la globalización ha supuesto un cambio de paradigma en el entorno sanitario. Esta realidad ha tenido una respuesta y, en pocos años, las tecnologías han pasado a ocupar un papel relevante en su gestión.

La cirugía robótica ha evolucionado significativamente, siendo uno de sus desarrollos más emblemáticos el sistema quirúrgico Da Vinci, que ha permitido realizar operaciones mínimamente invasivas con resultados prometedores.

La innovación en el ámbito médico enfrenta, además, un desafío legal fundamental para materializar el potencial de estas nuevas tecnologías. Es crucial encontrar un equilibrio entre la ética y el marco jurídico adoptando una perspectiva global sobre el uso de la Inteligencia Artificial (IA) en la práctica clínica para garantizar su aplicación segura y efectiva.

**Palabras clave:** robótica, cirugía, Da Vinci, responsabilidad.

## ABSTRACT

The growth of industry and globalisation has led to a paradigm shift in the healthcare environment. This reality has had a response and, in a few years, technologies have come to occupy an important role in its management.

Robotic surgery has evolved significantly, with one of its most emblematic developments being the Da Vinci surgical system, which has made it possible to perform minimally invasive operations with promising results.

Innovation in the medical field also faces a fundamental legal challenge to realize the potential of these new technologies. It is crucial to find a balance between ethics and the legal framework by adopting a global perspective on the use of Artificial Intelligence (AI) in clinical practice to ensure its safe and effective application.

**Keywords:** robotics, surgery, Da Vinci, liability.



## I. INTRODUCCIÓN

La ciencia médica sigue progresando a un ritmo imparable. Uno de los avances más significativos en los últimos años ha sido la incorporación de la tecnología robótica en la cirugía. Este desarrollo ha transformado profundamente los procedimientos quirúrgicos, mejorando la precisión, aumentando la seguridad y acelerando la recuperación de los pacientes. No obstante, también plantea retos importantes, como los elevados costos de implementación y la necesidad de una capacitación especializada para los profesionales médicos.

En este trabajo se ofrece una visión integral sobre la cirugía robótica, abarcando tanto sus beneficios como los desafíos que enfrenta, con el objetivo de contribuir al debate académico y profesional en torno a su creciente papel en la medicina moderna.

La investigación se sustenta en una revisión detallada de estudios científicos y en el análisis de distintos casos clínicos.

### 1.1 Metodología Aplicada

El estudio se inicia en junio de 2024, utilizando un enfoque deductivo. El planteamiento parte de una revisión bibliográfica de publicaciones científicas, artículos especializados, informes de investigación y fuentes web. Se incluye también el uso de información a nivel internacional, evaluando su correspondencia en el contexto europeo y su comparación con el Sistema Nacional de Salud (SNS).

Las fuentes consultadas provienen de bases de datos públicas como Google Scholar, Dialnet, Scielo y el Boletín Oficial del Estado (BOE), entre otras. Para la definición de ciertos términos, se ha recurrido a Wikipedia.

El análisis se estructura en dos partes. En la primera, se exponen los fundamentos teóricos que sirven de base para un análisis cualitativo y cuantitativo de la población seleccionada. Este trabajo fin de máster examina los antecedentes históricos de la cirugía robótica, su evolución y los usos actuales en diversas especialidades médicas. Aborda las ventajas e inconvenientes de su aplicación, la comparación de los costes asociados a la cirugía robótica frente a la cirugía tradicional y se dedica un análisis exhaustivo al sistema Da Vinci, explorando su funcionamiento, beneficios y retos operativos.

En la segunda parte, el estudio se desglosa por áreas específicas, centrándose en campos como la urología, la cirugía general y la ginecología.

Finalmente, se examinan las implicaciones éticas y legales que rodean el uso de la cirugía robótica. Aspectos como la responsabilidad en caso de error, la autonomía del paciente y los desafíos en la regulación jurídica de esta tecnología se presentan como temas clave para entender el futuro de las intervenciones quirúrgicas robotizadas.

## II. LA CIRUGIA ROBOTICA

### 2.1 Origen y evolución de la robótica.

Si bien es difícil establecer una fecha exacta para el origen de la robótica, podemos identificar varios hitos históricos que han contribuido al desarrollo de esta tecnología. A lo largo de la historia, aunque los dispositivos antiguos no se consideran robots en el sentido moderno, sí sentaron las bases para la creación de la robótica tal como la conocemos hoy.

Entre estos ejemplos pioneros se incluyen los inventos de Ctesibio de Alejandría y Arquímedes de Siracusa, cuyas creaciones mecánicas sirvieron como precursores de los conceptos de automatización y control que definen a la robótica actual. Estas innovaciones, aunque rudimentarias, marcaron los primeros pasos hacia lo que se convertiría en una de las áreas más revolucionarias de la ciencia y la tecnología en los siglos posteriores.

#### 2.1.1 Edad antigua.



Fuente: [Ctesibio - Biografía de Ctesibio \(biografias.es\)](#)

Ilustración 1. Ctesibio de Alejandría

*Arquímedes de Siracusa* (III a.C.): Es considerado uno de los mayores científicos multidisciplinarios de la historia, precursor de diversas disciplinas como la física, matemáticas, astronomía, etc. En referencia a los inicios de la robótica, diseñó los primeros sistemas de poleas y palancas conocidos, entre ellos el conocido tornillo de Arquímedes.



Ilustración 2. Grabado de André Thevet, 1584

Fuente: [Cálculo en Línea: PADRES DEL CÁLCULO: ARQUIMEDES \(calculoenlinea2013.blogspot.com\)](#)



Fuente: [Eolípila - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

*Herón de Alejandría* (I d.C.): Ingeniero, matemático e inventor griego, comúnmente conocido por sus escritos teóricos y creaciones en el ámbito de la mecánica. Sus dispositivos, aunque pudieran considerarse meros juguetes, demostraban principios científicos y pueden considerarse como las primeras muestras de automatización. Entre las invenciones de Herón podemos destacar la eolípila, la primera máquina de vapor conocida que transformaba energía térmica en energía mecánica o el odómetro, un mecanismo capaz de contar las vueltas que daba una rueda de un vehículo en movimiento, siendo capaz por lo tanto de medir la distancia recorrida.

Ilustración 3. Eolípila de Herón de Alejandría

**Zhang Heng** (I-II d.C.): Inventor y astrónomo chino, conocido como el padre del primer sismógrafo como un conjunto de bolas y péndulo que era capaz de detectar movimientos sísmicos y su origen. Además, aun fuera del ámbito de la robótica y los automatismos, también es conocido como el padre del primer telescopio.

**Ilustración 4. Reproducción del sismógrafo de ZhangHeng 1**



Fuente: [¡Un predictor de terremotos chino de 2000 años!](http://¡Un_predictor_de_terremotos_chino_de_2000_años!_(franciscojaviertostado.com)) [\(franciscojaviertostado.com\)](http://franciscojaviertostado.com)

### 2.1.2 Edad media y edad moderna.

Aunque durante estas edades seguimos sin tener presentes ejemplos de robótica tal y como los conocemos hoy en día, si hubo importantes precursores de los dispositivos mecánicos que sentaban las bases de la robótica moderna.

De este primer reloj, antes de su reconstrucción en el siglo XVI, se conserva el autómatas en forma de gallo hecho de madera y hierro forjado. Se trata de uno de los autómatas más antiguo que se conserva.



**Ilustración 5. Reloj astronómico “original” de la Catedral de Estrasburgo**

Fuente: [¡Un predictor de terremotos chino de 2000 años!](http://¡Un_predictor_de_terremotos_chino_de_2000_años!_(franciscojaviertostado.com)) [\(franciscojaviertostado.com\)](http://franciscojaviertostado.com)



Otro ejemplo de automatismo lo podemos encontrar en este inventor turco del siglo XII d.C y constructor de diversos relojes. Este reloj animado era accionado mediante mecanismos internos con sistemas hidráulicos y pesas.

**Ilustración 6. Reloj elefante de Al-Jazari**

Fuente: [Reloj elefante - Wikipedia, la enciclopedia libre](http://Reloj_elefante_-_Wikipedia_la_encyclopedia_libre)

**Leonardo da Vinci** (XV-XVI d.C.): En último lugar no podemos dejar de mencionar en este periodo al gran genio multidisciplinar Leonardo da Vinci. Fue capaz de aprender sobre la anatomía humana para aplicar el funcionamiento de los músculos, tendones y articulaciones a sus invenciones mecánicas.

Fue uno de los primeros inventores en entender y aplicar la energía potencial elástica. Destaca una de sus invenciones, el Caballero Mecánico de Leonardo, uno de los diseños más populares aplicados a la robótica o los autómatas, este autómatas estaba diseñado para realizar acciones básicas como sentarse, mover los brazos, mover la mandíbula, etc...



Fuente: [Los cuadernos perdidos que desvelaron los misterios de los robots de Leonardo da Vinci | BBC | MUNDO | EL COMERCIO PERU](http://Los_cuadernos_perdidos_que_desvelaron_los_misterios_de_los_robots_de_Leonardo_da_Vinci_|_BBC_|_MUNDO_|_EL_COMERCIO_PERU)

**Ilustración 7. El Caballero Mecánico**

### 2.1.3 Edad contemporánea.

La robótica moderna tiene sus raíces en la revolución industrial y los avances en electricidad, electrónica, ingeniería y computación. Durante este periodo, los autómatas simples evolucionaron hacia máquinas capaces de realizar tareas complejas de manera autónoma o semiautónoma, controladas por sistemas informatizados. Podemos destacar los siguientes hitos relevantes:

- El término "robot" fue introducido en 1920 por el escritor checo Karel Čapek en su obra *"Robots Universales Rossum"*, popularizándose como referencia a máquinas mecánicas.
- En 1961, Unimate, el primer robot industrial, se instaló en una planta de General Motors, marcando el inicio de la robótica industrial moderna.

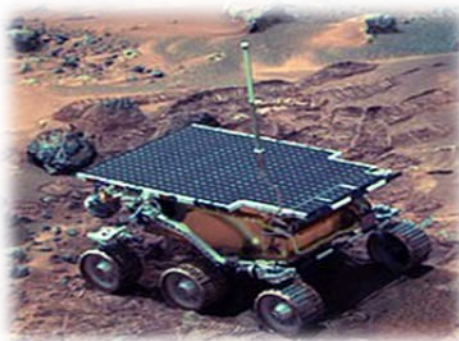
Ilustración 8. Ejemplar conservado de UNIMATE



Fuente: [Le prossime mosse dei robot Kawasaki e Tiesse - Industria Italiana](#)

- Shakey (1966-1972), desarrollado por el Stanford Research Institute, fue pionero al usar sensores para percibir y reaccionar a su entorno, tomando decisiones complejas.
- En el ámbito espacial, robots como el Lunokhod 1 (1970), el primer rover en la Luna, y el Sojourner (1997), el primer rover en Marte, destacaron en la exploración remota.

Ilustración 9. Imagen de Sojourner tomada por el Pathfinder

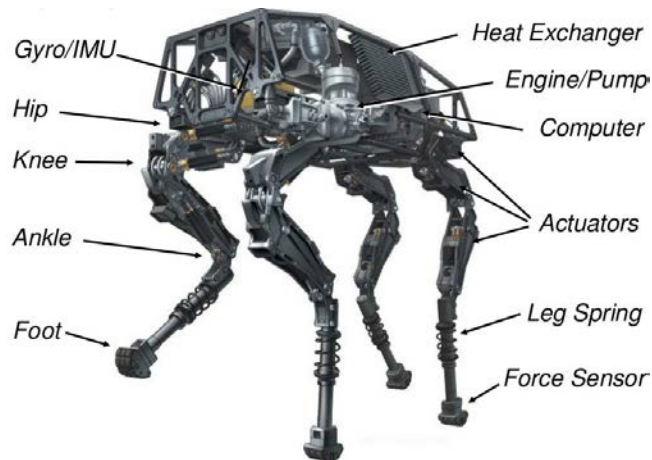


Fuente: <https://www.eluniverso.com/noticias/internacional/la-historia-de-todos-los-robots-exploradores-de-la-nasa-en-marte-nota/>

- El humanoide ASIMO de Honda (2000) simboliza el avance de los robots con capacidades complejas, mientras que Boston Dynamics, fundada en 1992,

revolucionó la robótica autónoma con creaciones como el cuadrúpedo BigDog (2005), diseñado para transportar cargas en terrenos difíciles, siendo probado y utilizado en parte en el ámbito militar.

**Ilustración 10. BigDog Architecture**



**Fuente:** [Boston Dynamics des pros dans le domaine de la robotique mais que va devenir Boston Dynamics ? \(forumactif.org\)](http://www.forumactif.org/boston-dynamics-des-pros-dans-le-domaine-de-la-robotique-mais-que-va-devenir-boston-dynamics-2)

Estos hitos ilustran la evolución de la robótica desde máquinas simples hasta sistemas avanzados, capaces de operar en entornos desafiantes con alto nivel de autonomía. Pero ¿Qué podemos decir de los avances de la robótica en el sector de la salud?

## 2.2 Robótica en la Salud

Si nos centramos en el ámbito de la salud, también se ha recorrido un largo camino desde los inicios de la aplicación de esta de la tecnología en el citado ámbito. No obstante, para ver el inicio de su andanza, solamente debemos remontarnos a mitad del siglo XX, cuando la aplicación de los avances en ingeniería, informática y medicina comenzaron a entrelazarse para dar lugar a dispositivos que pudiesen asistir a los profesionales en los procedimientos médicos.

### 2.2.1 Cirugía Robótica

¿Qué entendemos por Cirugía Robótica? La robótica es una disciplina que combina conocimientos de diversas áreas de la ciencia, como la computación, la biomedicina y las ingenierías, para diseñar y desarrollar dispositivos capaces de realizar tareas complejas de manera autónoma o semiautónoma. Estos dispositivos, conocidos como robots, pueden tener aplicaciones muy variadas, desde la industria manufacturera hasta la medicina.

Dentro de la cirugía, la robótica ha alcanzado un nivel de complejidad significativo. A partir de la década de 1980, se comenzaron a desarrollar los primeros robots quirúrgicos. A continuación, se destacan algunos de los hitos más importantes en este campo:

- a) ARTHROBOT (1984-1985): Un equipo canadiense liderado por James McEwen desarrolló el *Arthrobot*, un brazo hidráulico que asistía a los cirujanos en



intervenciones ortopédicas. Reconocía hasta 20 órdenes de voz y fue utilizado en unas 250 cirugías.

**Ilustración 11. Arthrobot.**



Fuente: [Así era Arthrobot, el abuelo de los robots cirujanos que se perdió en una mudanza \(eldiario.es\)](http://eldiario.es)

- b) PUMA 560 (1985): Originalmente diseñado para la industria, este robot fue adaptado al entorno clínico, siendo el primero en realizar una cirugía asistida en 1985, concretamente una biopsia cerebral.

**Ilustración 12. Puma 560**



Fuente: [10 momentos para recordar la historia de la robótica - Como Funciona Que](http://10momentospararecordarlahistoriadelarobotica.com)

- c) ROBODOC (1992): Este sistema, desarrollado para mejorar la precisión en la cirugía ortopédica, realizaba cortes precisos y planificaciones quirúrgicas basadas en imágenes médicas. Fue uno de los primeros robots quirúrgicos en ser aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés)<sup>1</sup> para su uso junto al PUMA 560.

**Ilustración 13. Robodoc**

Fuente: [Sistema TSolution-One Ö \(Robodoc\).](http://SistemaTSolution-One-Ö(Robodoc).) | [Descargar Diagrama Científico \(researchgate.net\)](http://DescargarDiagramaCientífico(researchgate.net))



<sup>1</sup> Agencia gubernamental estadounidense encargada de proteger la salud pública a través de la regulación de diversos productos.

d) DA VINCI (1999): Desarrollado por *Intuitive Surgical*, este robot revolucionó la cirugía mínimamente invasiva, permitiendo procedimientos complejos con mayor precisión y reduciendo el tiempo de recuperación del paciente. Aunque costoso y con la necesidad de formación especializada, ha sido ampliamente adoptado en todo el mundo. Profundizaremos en esta técnica más adelante.

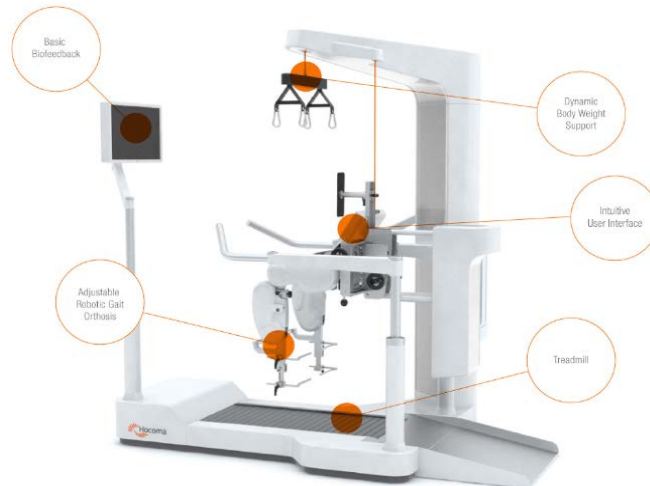
### 2.2.2 Otras Aplicaciones de la Robótica en Salud

Además de la cirugía, la robótica ha encontrado aplicaciones en múltiples áreas de la salud:

#### Rehabilitación:

- *Lokomat*: Un exoesqueleto robótico que ayuda a los pacientes con dificultades neurológicas a recuperar la capacidad de caminar.

Ilustración 14. Version de Lokomat actual



Fuente: [Lokomat® - Hocoma](#)

- *ArmEO*: Diseñado para la rehabilitación de miembros superiores, asiste en los movimientos del brazo y la mano.

Ilustración 15. Equipo servicio de rehabilitación del Hospital Sant Joan de Déu.



Fuente: [ArmeoPower - Exoskeleton Report](#)

## Asistencia Sanitaria:

- *PARO*: Un robot terapéutico con forma de foca que se utiliza en el tratamiento de pacientes con demencia, ayudando a reducir el estrés y la soledad.

Ilustración 16. Takanori Shibata, creador PARO (España 2023)



Fuente: [Primer ensayo en España con el robot PARO en demencia \(saludadiario.es\)](https://saludadiario.es)

- *Robear*: Un robot diseñado para ayudar a los pacientes mayores con movilidad reducida.

Ilustración 17. Uso de Robear en una clínica japonesa



Fuente: [The strong robot with the gentle touch | RIKEN](https://www.riken.jp/en/press/2019/04/20190419_01)

## Diagnóstico:

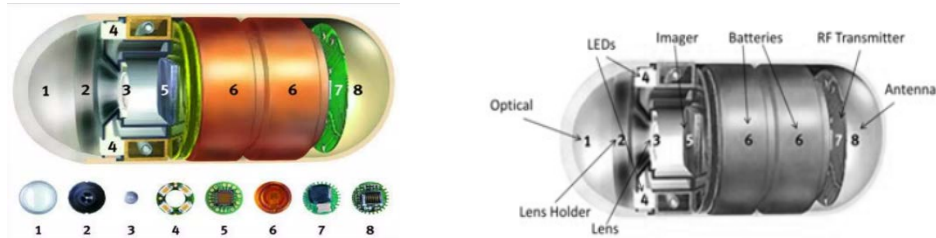
- *Cápsulas endoscópicas*: Como la PiLLCam, una cápsula robótica que captura imágenes del tracto digestivo para ayudar en diagnósticos.

Al tratarse de un procedimiento mínimamente invasivo y eficaz, ha evolucionado desde entonces y es un gran aliado para la detección precoz de determinadas enfermedades gracias a salvar el obstáculo de la dificultad de acceso al intestino delgado. Hay que destacar que este



elemento no puede tomar biopsias en su trayecto, limitándose a la imagen de alta definición.

Ilustración 18. Imagen de Understanding Smart Sensors, 3rd Edition



Fuente: [Capsula endoscópica | PPT \(slideshare.net\)](#)

- *Biopsias*: Robots como *Artemis* asisten en biopsias pulmonares o de próstata, mejorando la precisión de estos procedimientos.

Ilustración 19. Sistema Artemis



Fuente: [Hospital Militar lanza Biopsia Robótica de Próstata con Sistema Artemis](#)

- *Diagnóstico automatizado*. El diagnóstico automatizado en laboratorios ha sido una aplicación fundamental de la robótica durante décadas, permitiendo la automatización de procesos como la preparación de muestras biológicas, incluyendo la manipulación de tubos de ensayo, reactivos y la centrifugación.

Estos sistemas también se encargan del análisis de las muestras y la emisión de resultados, reduciendo los errores humanos y aumentando significativamente la productividad gracias a su capacidad de operar de manera continua y eficiente. Esta tecnología está ampliamente implementada en áreas como hematología,

bioquímica, microbiología y genómica. Entre los sistemas más destacados se encuentran:

- Abbot Architect: Capaz de realizar múltiples pruebas simultáneamente, lo que lo convierte en una herramienta ideal para laboratorios de alto rendimiento.
- Roche Cobas: Un sistema automatizado que realiza pruebas de química clínica e inmunología a gran escala, facilitando el manejo de grandes volúmenes de muestras.

### Telemedicina:

- Robots de telepresencia como los de *InTouch Health* permiten a los médicos interactuar con pacientes a distancia, optimizando la atención sanitaria en áreas remotas.

Ilustración 20. Imágenes de catálogo de InTouch Health



Fuente: [InTouch Health + Teladoc Health](#)

- *El diagnóstico y tratamiento remoto.* Utiliza dispositivos conectados que permiten la recopilación de datos biométricos y ambientales desde el hogar del paciente.

Estos datos ayudan al profesional médico a comprender mejor el entorno y las necesidades del paciente, facilitando una atención personalizada y adaptada a cada caso.

Un ejemplo destacado es el sistema de tratamiento con bomba de insulina en remoto de Medtronic, que permite un control preciso y continuo del tratamiento para pacientes con diabetes.

**Ilustración 21. Bomba de insulina en remoto de Medtronic**



Fuente: [Sistema de tratamiento con bomba de insulina | Medtronic Diabetes ES \(medtronic-diabetes.com\)](http://medtronic-diabetes.com)

### Farmacia:

- Robots como los de *Omniceil* gestionan la dispensación de medicamentos y el inventario, reduciendo el error humano.

**Ilustración 22. Sistema XR2 de Omnicell**



Fuente: [Omnicell XR2 Automated Central Pharmacy System - \(sefh.es\)](http://sefh.es)

- Sistemas como *Pillpick* preparan dosis unitarias personalizadas para pacientes hospitalizados.

Ilustración 23. Sistema PillPick del Hospital Sant Joan de Reus



Fuente: [Swisslog PillPick Automated Packaging and Dispensing System - NextGen Healthcare Technologies \(simeks.com.tr\)](http://www.simeks.com.tr)

### 2.2.2 Situación global en la sanidad pública y privada.

La cirugía robótica ha experimentado un crecimiento significativo en todo el mundo, especialmente en países con sistemas sanitarios avanzados que buscan mejorar la precisión y eficiencia de los procedimientos quirúrgicos.

En este contexto, tanto la sanidad pública como la privada han comenzado a incorporar robots quirúrgicos, aunque su implementación a gran escala enfrenta barreras con notables diferencias entre los sistemas sanitarios públicos y privados, principalmente relacionadas con los altos costes y la necesidad de formación especializada.

A nivel mundial, la cirugía robótica está presente principalmente en países desarrollados, donde los hospitales pueden permitirse la adquisición de tecnología avanzada como el sistema Da Vinci, el más comúnmente utilizado. Sin embargo, su accesibilidad sigue siendo un reto, ya que no todos los sistemas de salud pública pueden asumir los costes de adquisición, mantenimiento y formación para utilizar estas plataformas de manera efectiva.

En la sanidad pública, la introducción de la cirugía robótica es más lenta debido a los altos costes asociados con la adquisición, mantenimiento y formación del personal. Los sistemas de salud públicos, particularmente en países con recursos limitados, suelen priorizar inversiones en tecnologías que ofrezcan beneficios inmediatos a una mayor población. Por tanto, aunque en países desarrollados como Estados Unidos, Japón y algunas naciones europeas se han implementado robots quirúrgicos en hospitales públicos, su acceso es restringido y limitado a ciertos procedimientos especializados, como urología o cardiología.

Además, los costes iniciales son significativos. Los sistemas más avanzados, como Da Vinci, tienen un precio que puede superar los 2 millones de euros, con gastos

anuales de mantenimiento elevados. Esto limita su implantación en hospitales públicos, que deben justificar estas inversiones frente a otros recursos y tecnologías.

En el ámbito privado, los hospitales han adoptado más rápidamente la cirugía robótica como parte de su oferta. Las clínicas privadas suelen tener más flexibilidad financiera para adquirir estos sistemas y ofrecerlos como una alternativa premium, atrayendo a pacientes que buscan tratamientos menos invasivos y con tiempos de recuperación más cortos. En países como Estados Unidos, donde el sector privado tiene un rol predominante, el acceso a la cirugía robótica es mucho más amplio y constituye una herramienta de marketing importante para atraer pacientes.

No obstante, en la sanidad privada, los procedimientos robóticos suelen estar asociados a costes elevados para los pacientes, lo que restringe su acceso a quienes pueden permitirse pagar por este tipo de tratamiento.

En muchos países en vías de desarrollo, la adopción de la cirugía robótica es prácticamente inexistente en el sector público debido a los altos costes de adquisición y operación.

Aunque algunas iniciativas internacionales buscan reducir esta brecha, el acceso a estas tecnologías sigue siendo un reto. Esto refleja una desigualdad significativa en el acceso a tecnologías avanzadas entre países de ingresos altos y bajos.

### **2.2.3 Situación en España**

Aunque la cirugía robótica está en expansión, su adopción en el sector público, tanto en España como en Europa, depende de las normativas estrictas sobre seguridad y la viabilidad económica.

La implementación de la robótica en la cirugía plantea un desafío clave: la relación costo-beneficio. Si bien la cirugía robótica requiere una inversión inicial considerable, sus beneficios a largo plazo pueden compensar este costo, especialmente en términos de calidad asistencial y resultados para los pacientes.

En España, la introducción de la cirugía robótica ha sido gradual. El Sistema Nacional de Salud (SNS) ha incorporado sistemas Da Vinci en varios hospitales públicos, especialmente para procedimientos en urología, cirugía general y ginecología.

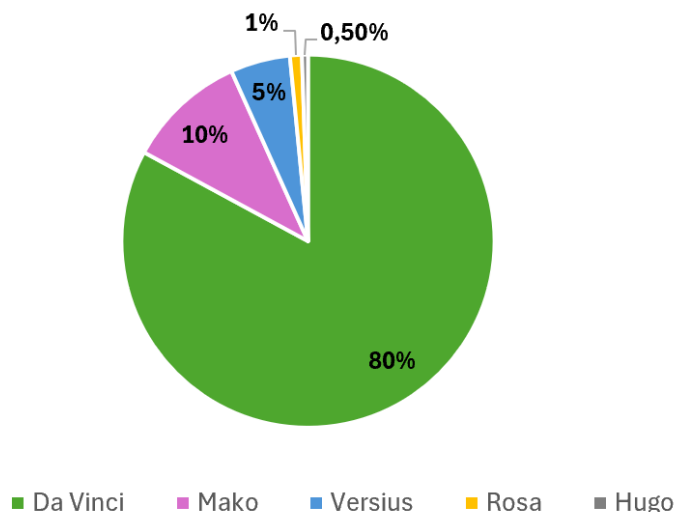
En el sistema nacional de salud se encuentran alrededor de 150 robots quirúrgicos repartidos, mayoritariamente, por los hospitales públicos, de los 350 centros hospitalarios que hay en España, 80 disponen de estas herramientas. Este número irá ampliándose en el corto y medio plazo. En los más de 20 años que los sistemas robóticos están en los centros más de 3.000 robots quirúrgicos están repartidos por EEUU y alrededor de 1.600 por Europa.

Aunque el acceso a esta tecnología ha mejorado en los últimos años, sigue siendo desigual y más presente en grandes centros hospitalarios. La sanidad pública debe equilibrar el coste de los equipos con los beneficios clínicos, y la implantación de esta tecnología aún no está tan extendida como en otros países de Europa.

Uno de los primeros y con más éxito dentro de la cirugía robótica es el robot Da Vinci, fabricado por Intuitive Surgical y actualmente distribuido por ABEX. En el sistema nacional de salud están distribuidos unos 145 Da Vinci, de los cuales, el 40% están en la red privada y el 60% en la pública.

La Figura 1 ilustra que, a pesar de la liberación de patentes relacionadas con robots quirúrgicos, el sistema Da Vinci sigue siendo la tecnología más utilizada en el SNS.

Figura 1. Plataformas de Cirugía Robótica



Fuente: Elaboración propia

"El principal motivo es que la sanidad pública es la de referencia para todos los ciudadanos, es donde más paciente acuden y se tratan.

Las autonomías que tienen más robots Da Vinci son Cataluña, Comunidad de Madrid, Andalucía, Comunidad Valenciana y Galicia. Asimismo, hay una región que no cuenta con ninguno y es Castilla- La Mancha. Siempre hay una primera comunidad y una última." (Pablo Díez, director general de ABEX – compañía que comercializa el robot Da Vinci en España)

### 2.2.3.1 Competencia en el mercado de robots quirúrgicos: más allá de ABEX

ABEX no es la única compañía compitiendo en el creciente mercado de la cirugía robótica. Tras la expiración de la patente del sistema Da Vinci, el líder indiscutible en robótica quirúrgica durante años, han surgido varios nuevos competidores (Medtronic, CMR Surgical, entre otros.) que están transformando la industria y ampliando las opciones disponibles para hospitales y cirujanos.

Uno de los principales contendientes es Medtronic, que ha irrumpido en el mercado con su sistema robótico Hugo. Hugo se ha destacado por su enfoque modular y su versatilidad, diseñado para ofrecer una experiencia más flexible tanto para los cirujanos como para los centros de salud.

Además de Hugo, Medtronic también ha desarrollado Mazor, un robot especializado en cirugía de columna vertebral, que ha sido bien recibido por su precisión y capacidad para asistir en procedimientos complejos de manera menos invasiva. A día de hoy, hay tres sistemas en hospitales privados de Madrid, Barcelona y Málaga.



Otra destacada empresa con sede en Cambridge, Reino Unido, es CMR Surgical, que ha ganado relevancia en el mercado con su robot quirúrgico Versius. Este sistema ha sido diseñado con un enfoque en la compacidad y accesibilidad, ofreciendo a los hospitales una opción más flexible y económica para integrar tecnología avanzada, sin los altos costos que suelen acompañar a otros sistemas robóticos más grandes y complejos.

Una de las principales ventajas de Versius es su capacidad para realizar intervenciones mínimamente invasivas, utilizando brazos robóticos que penetran en el cuerpo a través de incisiones de apenas 5 milímetros. Además, uno de sus brazos funciona como endoscopio, proporcionando una visión en 3D al equipo quirúrgico, lo que mejora la precisión y el control durante los procedimientos. El diseño ergonómico de Versius, junto con su capacidad para ejecutar movimientos extremadamente precisos, lo convierte en una herramienta ideal para diversas especialidades quirúrgicas, como urología, ginecología y cirugía general.

En España, Versius está ganando popularidad en los centros de salud gracias a su tamaño compacto, su flexibilidad y la rapidez con la que los profesionales pueden aprender a utilizarlo.

Bitrack es un robot quirúrgico diseñado por Rob Surgical, una empresa ubicada en Cataluña, y es un sistema especializado en microcirugía robótica. Su modelo de negocio se basa en la propiedad y administración del robot por parte de la empresa: cuando se programa una cirugía, Rob Surgical transporta el robot al hospital bajo demanda. Esto permite a los hospitales concentrar varias intervenciones en un período de tiempo determinado, optimizando el uso del robot. El Hospital Clínic de Barcelona ha sido uno de los primeros en incorporar este sistema a sus quirófanos.

ROSA (Robotic Surgery Assistant) es un sistema robótico desarrollado por Zimmer Biomet, diseñado principalmente para asistir en cirugías de rodilla, como la implantación de prótesis y el reemplazo total de la articulación. Además, también puede utilizarse en procedimientos relacionados con prótesis de cadera.

El sistema ROSA se ha convertido en una herramienta importante dentro del campo de la cirugía ortopédica, brindando asistencia robótica para mejorar la exactitud, la seguridad del paciente y los resultados postoperatorios.

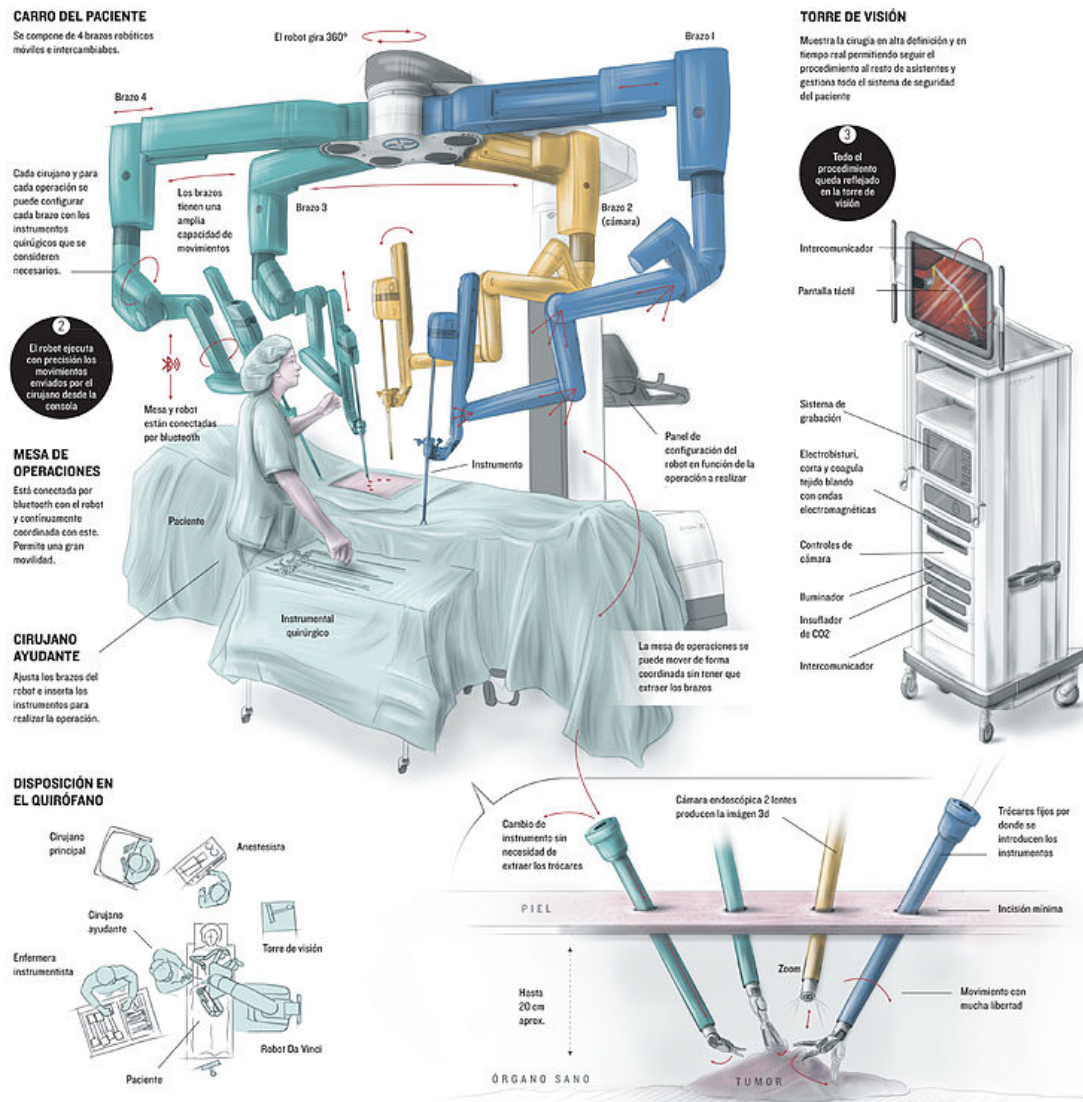
**Ilustración 24. ROSA (Robotic Surgery Assistant)**



## 2.2.4 Robot Da Vinci

El sistema quirúrgico **Da Vinci**, desarrollado por la compañía estadounidense **Intuitive Surgical**, ha sido un avance significativo en la cirugía robótica desde su introducción hace aproximadamente 25 años.

Ilustración 25. Robot Da Vinci



Fuente: [Cirugía robótica: así es el robot Da Vinci Xi que incorpora el IVO | Comunidad Valenciana \(elmundo.es\)](https://www.elmundo.es/comunidad-valenciana/2018/04/25/cirugia-robotica-asi-es-el-robot-da-vinci-xi-que-incorpora-el-ivo-1524681231.html)

A lo largo de estas dos décadas, ha experimentado numerosas actualizaciones y mejoras, consolidándose como uno de los sistemas más avanzados y utilizados en procedimientos mínimamente invasivos.

Se emplea en múltiples especialidades médicas, como la urología, ginecología y cirugía general, permitiendo a los cirujanos realizar operaciones con mayor precisión, flexibilidad y control que con las técnicas tradicionales.



**Ilustración 26. Componentes del robot Da Vinci**

### Carro del Paciente



Es el componente operativo del sistema da Vinci y se compone de cuatro brazos móviles e intercambiables, montados en una sola columna, destinados a soportar la óptica, y los instrumentos de 8 mm, de una longitud de más de 48 cm para llegar a las anatomías más complejas.

### Torre de Visión



Contiene la unidad central de elaboración y procesamiento de la imagen para obtener una visión real en 3D, además de equipos accesorios del sistema robótico da Vinci (electrobisturí, insufladores, etc.).

### Consola Quirúrgica



Es el centro de control. A través de la consola, el cirujano controla la óptica y los instrumentos mediante dos mandos y varios pedales.

Fuente: [Dossier de Prensa ABEX 2023 \(abex.es\)](https://www.abex.es/abex/2023/01/23/dossier-de-prensa-abex-2023/)

En España, el principal distribuidor de esta tecnología es Abex, y su uso ha crecido considerablemente en los últimos años, tanto en el sistema sanitario público como en el privado. Se utiliza principalmente en cirugías colorrectales, prostatectomías radicales e hysterectomías.

En la Comunidad de Madrid, el sistema Da Vinci está instalado en doce hospitales públicos, como el Hospital Clínico San Carlos, el Hospital Gregorio Marañón y el Hospital La Paz, entre otros. Además, centros privados como el Hospital Universitario Quirónsalud Madrid (Uno de los centros pioneros en el uso del sistema Da Vinci en España) y el Hospital Clínic de Barcelona también cuentan con esta tecnología para procedimientos complejos.

Su coste es elevado, convirtiéndolo en un hándicap para muchos sistemas o centros sanitarios y su uso requiere una formación adecuada para el personal quirúrgico, pero sus beneficios en precisión y recuperación del paciente son incuestionables.

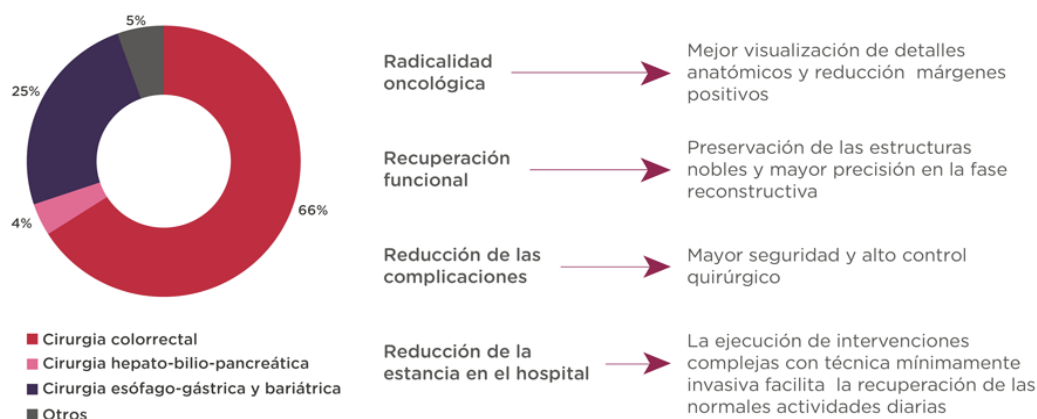
#### 2.2.4.1 Principales áreas de uso del sistema Da Vinci

##### Cirugía General

Para este servicio, el robot Da Vinci ha supuesto un cambio a la hora de afrontar una intervención, ya sea en procedimientos de resección hepática o cirugía esofagogástrica como en intervenciones estándar (resección del recto o hemicolectomía izquierda y derecha). Aunque aún existen tipos de intervención que se encuentran con bajo uso (procedimientos de esofagectomía y pancreatectomía).

Este tipo de intervenciones con el Da Vinci son claves para que los pacientes tengan una menor estancia hospitalaria, una menor tasa de complicación y una mejor recuperación postoperatoria.

Figura 2. Principales Intervenciones Da Vinci-C General



Fuente: [Dossier de Prensa ABEX 2023 \(abexsl.es\)](#)

## Urología

Para este servicio la tecnología se está encaminando hacia intervenciones menos agresivas y mínimamente invasivas además de ser el principal campo en el que se aplica la cirugía con el Da Vinci.

La intervención que mayormente se realiza es la prostatectomía robótica, aunque también se realizan pieloplastias, nefrectomías y cistectomías.

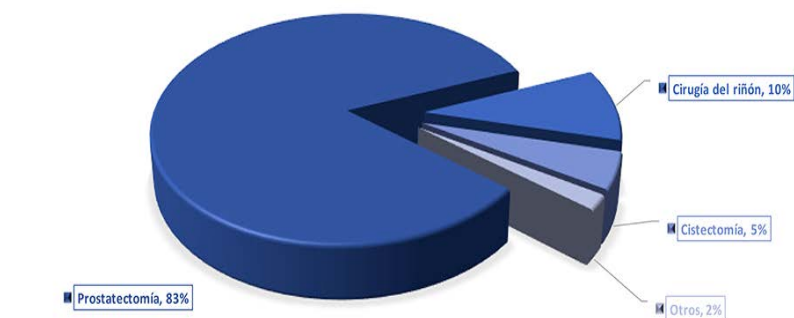
Ilustración 27. Evolución Cirugía Robótica-Urología (Da Vinci)



Fuente: [Dossier de Prensa ABEX 2023 \(abexsl.es\)](#)

La adopción del sistema Da Vinci en el caso de cirugía renal, ofrece al paciente una solución lo más conservadora posible y oncológicamente eficaz.

Figura 3. Principales Intervenciones Da Vinci-Urología



Fuente: [Dossier de Prensa ABEX 2023 \(abexsl.es\)](#)

Uno de sus ámbitos más utilizados es en urología, siendo el Hospital Clínico San Carlos de Madrid uno de los centros que más intervenciones realiza de este tipo.

**Ilustración 28. Hospital Clínico San Carlos (Intervención Robot Da Vinci)**



Fuente: [Robot Da Vinci. Hospital Clínico San Carlos en Madrid \(fundacionestherkoplowitz.org\)](http://RobotDaVinci.HospitalClínicoSanCarlosenMadrid(fundacionestherkoplowitz.org))

## Ginecología

La ginecología poco a poco va creciendo en el uso del robot Da Vinci. Además de la histerectomía y la miomectomía, los tratamientos estándares actuales, se están realizando procedimientos robóticos para histerectomía radical, sacrocolpopexia y resección por endometriosis.

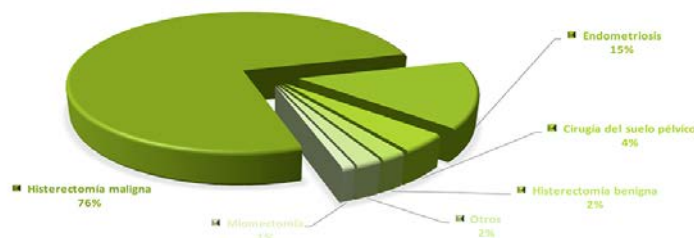
**Ilustración 29. Evolución Cirugía Robótica-Ginecología (Da Vinci)**



Fuente: [Dossier de Prensa ABEX 2023 \(abexsLes\)](http://DossierdePrensaABEX2023(abexsLes))

Para las intervenciones de histerectomía, que consiste en la extirpación del útero, el uso del Da Vinci tiene un resultado con una mayor tasa de éxito en la erradicación del tumor. Esta drástica reducción de las complicaciones tanto operatorias como postoperatorias conlleva un menor uso de transfusiones, así como una estancia hospitalaria menor, todo esto repercute en una mayor satisfacción para el paciente.

**Figura 4. Principales Intervenciones Da Vinci-Ginecología**



Fuente: [Dossier de Prensa ABEX 2023 \(abexsLes\)](http://DossierdePrensaABEX2023(abexsLes))

El sistema quirúrgico Da Vinci ha demostrado ser una solución eficaz, al mejorar la maniobrabilidad y ergonomía en procedimientos laparoendoscópicos puerto único (LESS), facilitando una cirugía más precisa y eficiente.

Las ventajas de la cirugía robótica por puerto único incluyen cicatrices mínimas, acceso mínimamente invasivo, reducción del dolor postoperatorio y resultados similares a la cirugía abierta tradicional, lo que es particularmente atractivo en el sector privado, donde la demanda por cirugías menos invasivas y con mejores resultados cosméticos es mayor.

## 2.3 Análisis DAFO de la Cirugía Robótica

A continuación, se llevará a cabo un análisis utilizando la herramienta del DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) para evaluar estos aspectos en relación con la cirugía robótica.

**Tabla 1. Análisis DAFO**

FACTORES INTERNOS	DEBILIDADES	FACTORES EXTERNOS	AMENAZAS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos iniciales.</li> <li>• Curva de aprendizaje.</li> <li>• Dependencia tecnológica.</li> <li>• Accesibilidad limitada.</li> <li>• Carencia de normativa en determinados aspectos.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencia con métodos tradicionales.</li> <li>• Riesgos de ciberseguridad.</li> <li>• Regulación.</li> <li>• Rechazo los profesionales y pacientes.</li> </ul>
	FORTALEZAS		OPORTUNIDADES
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicable en diversos ámbitos de cirugía y medicina general.</li> <li>• Mayor precisión.</li> <li>• Es menos invasivo, a consecuencia la recuperación es más rápida.</li> <li>• Mejor visualización y acceso.</li> <li>• Reducción de la fatiga del cirujano.</li> <li>• Integración de inteligencia artificial y sistemas de toma de decisiones</li> <li>• Independencia geográfica.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansión de la telemedicina y cirugía a distancia.</li> <li>• Desarrollo de nuevas aplicaciones clínicas.</li> <li>• Reducción de costos a largo plazo.</li> <li>• Mejora continua de la tecnología</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

### **Fortalezas** (factores positivos internos):

a) Aplicabilidad en diversos campos de la medicina y cirugía: La robótica se utiliza más allá de la cirugía en el sector sanitario, aplicándose en áreas como la rehabilitación, transporte de material y pacientes, asistencia remota, entre otros.

b) Mayor precisión: Los sistemas robóticos mejoran la precisión en procedimientos quirúrgicos, minimizando el error humano. Algunos de ellos detectan movimientos involuntarios y los compensan.

c) Menor invasividad y recuperación más rápida: Los procedimientos robóticos suelen ser menos invasivos, con incisiones más pequeñas que reducen el dolor postoperatorio y los tiempos de recuperación.

d) Mejor visualización y acceso: La robótica ofrece una visión 3D ampliada y facilita el acceso a zonas de difícil alcance, aumentando la eficacia quirúrgica.

e) Reducción de la fatiga del cirujano: Aliviando la carga física, la robótica permite cirugías más largas y complejas sin comprometer la precisión.

f) Integración de inteligencia artificial (IA): La IA ayuda en la toma de decisiones clínicas, análisis de datos en tiempo real y personalización de tratamientos.

g) Independencia geográfica: La robótica facilita procedimientos a distancia, beneficiando regiones remotas.

### **Debilidades** (factores negativos internos):

a) Altos costos iniciales: La adquisición y mantenimiento de sistemas robóticos supone una gran inversión, lo que puede ser un obstáculo financiero, especialmente en el sector público.

b) Curva de aprendizaje: Se requiere formación especializada para el personal médico y técnico, lo que conlleva costos adicionales y tiempo de capacitación.

c) Dependencia tecnológica: La fiabilidad de los procedimientos robóticos depende de una infraestructura tecnológica sólida, y los fallos en esta pueden interrumpir cirugías y poner en riesgo a los pacientes.

d) Accesibilidad limitada: No todos los centros de salud pueden costear esta tecnología, generando desigualdades en el acceso a tratamientos avanzados.

e) Falta de regulación: La rápida evolución tecnológica plantea desafíos regulatorios, especialmente en términos de responsabilidad en el ámbito sanitario.

### **Oportunidades** (factores positivos externos):

a) Expansión de la telemedicina y cirugía a distancia: La robótica facilita cirugías remotas, mejorando el acceso a atención especializada en zonas con escasa infraestructura médica.

b) Desarrollo de nuevas aplicaciones clínicas: El avance en robótica e IA está ampliando su uso en diagnóstico, tratamiento y rehabilitación.

c) Reducción de costos a largo plazo: Con la adopción masiva de la tecnología, los costos de producción y operación podrían reducirse, haciendo a la robótica más rentable que los métodos tradicionales. d) Mejora continua de la tecnología: La constante evolución de la robótica, junto con avances en software, hardware y bioinformática, promete optimizar aún más los resultados clínicos y reducir costos.

### **Amenazas** (factores negativos externos):

a) Competencia con métodos tradicionales: Las técnicas quirúrgicas convencionales siguen siendo eficaces y más económicas, por lo que la robótica debe justificar claramente su relación costo-beneficio.

b) Riesgos de ciberseguridad: La dependencia de sistemas interconectados en robótica introduce riesgos de seguridad que pueden comprometer a los pacientes.

c) Regulación estricta: Las tecnologías robóticas están sujetas a normativas complejas, con procesos de aprobación largos y costosos que retrasan su implementación.

d) Resistencia por parte de profesionales y pacientes: Algunos pueden mostrarse reacios a confiar en la robótica debido a su novedad o desconocimiento.

Este análisis DAFO destaca el gran potencial de la robótica en la medicina, particularmente en cirugía, para mejorar los resultados clínicos. Sin embargo, enfrenta importantes retos relacionados con el costo y la accesibilidad. Con la evolución tecnológica y la reducción de precios, es probable que la robótica se integre más ampliamente en el sistema sanitario.

Los factores mencionados no se limitan únicamente a la cirugía. También son aplicables a otros sectores de la salud, como la farmacia hospitalaria, logística, rehabilitación y distribución de pacientes. Si nos enfocamos en un modelo específico, como el robot Da Vinci, encontramos datos relevantes en la "Revisión sistemática de las evaluaciones económicas de la cirugía mediante equipo quirúrgico Da Vinci" (ISBN 978-84-451-3423-8), que recoge los resultados de 32 estudios clínicos.

**Tabla 2. Evaluación económica Cirugía Da Vinci**

<b>Tipo de cirugía</b>	<b>Diferencia de costes (%)</b>
<b>Miomectomía</b>	<b>84</b>
<b>Pieloplastia</b>	<b>79</b>
<b>Sacrocolpopexia</b>	<b>73</b>
<b>Prostatectomía radical</b>	<b>52</b>
<b>Esofagomiotomía</b>	<b>49</b>
<b>Cirugía de revascularización miocárdica</b>	<b>45</b>
<b>Cierre de defecto septal atrial</b>	<b>35</b>
<b>Resección colorrectal</b>	<b>20</b>
<b>Anastomosis tubárica</b>	<b>17</b>
<b>Nefrectomía radical</b>	<b>17</b>
<b>Reparación de válvula mitral</b>	<b>14</b>
<b>Histerectomía</b>	<b>-6</b>
<b>Funduplicatura de Nissen pediátrica</b>	<b>-9</b>
<b>Cistectomía radical</b>	<b>-10</b>
<b>Adrenalectomía</b>	<b>-11</b>
<b>Bypass gástrico</b>	<b>-16</b>
<b>Bypass de arteria carótida</b>	<b>-26</b>
<b>Pancreatectomía</b>	<b>-26</b>

**Fuente:** "Revisión sistemática de las evaluaciones económicas de la cirugía mediante equipo quirúrgico Da Vinci" (ISBN 978-84-451-3423-8)z

La conclusión que se desprende de esta información es que, aunque en ciertas cirugías el costo total asociado a la amortización, formación y uso del equipamiento robótico sigue siendo más elevado (en hasta 11 procedimientos), en 7 de estas intervenciones el costo directo de la cirugía robótica resulta hasta un 26% inferior en comparación con la técnica tradicional.

Se espera que, con la mayor adopción de la tecnología, los costos iniciales de adquisición y mantenimiento de la cirugía robótica disminuyan, superando uno de los principales obstáculos económicos.

Además, atendiendo a la misma publicación referenciada, encontramos que en el 96% de los casos, las cirugías robóticas resultaron en un menor tiempo de hospitalización comparado con las convencionales, reduciendo costos y mejorando la recuperación y satisfacción del paciente.

## **2.4 Efectividad de la cirugía robótica vs cirugía tradicional**

Uno de los aspectos más relevantes al considerar la implementación de la robótica en cualquier sector, y en particular en el ámbito de la sanidad, donde los costes suelen ser elevados y una gran parte del sistema tiene un carácter público, es el análisis del coste-beneficio tangible.

La adopción de tecnología robótica en el sector sanitario implica una inversión inicial significativamente alta en comparación con las técnicas convencionales, que ya de por sí conllevan costos considerables. Sin embargo, a largo plazo, la robótica tiene el potencial de reducir los gastos operativos al disminuir las complicaciones, acortar los tiempos de recuperación y hospitalización, y reducir la necesidad de personal sanitario.

Es en el campo de la cirugía robótica donde esta relación coste-beneficio se hace más evidente, dado que estos procedimientos requieren una inversión elevada tanto en términos económicos como en recursos humanos.

Desde la perspectiva del paciente, los beneficios más fácilmente identificables de la robótica incluyen una mayor precisión, menor invasividad y una recuperación más rápida, lo que puede repercutir positivamente en su calidad de vida. En cambio, las técnicas quirúrgicas tradicionales, aunque eficaces, tienden a ser más invasivas y suelen prolongar los tiempos de recuperación.

### **2.3.2 Costes y Beneficios**

La cirugía robótica y la cirugía tradicional son dos enfoques distintos en el tratamiento quirúrgico, cada uno con sus ventajas y desventajas en términos de costos, beneficios, riesgos y resultados clínicos.

La cirugía robótica implica una inversión inicial elevada, con sistemas como el Da Vinci que oscilan entre 1,5 y 2,5 millones de euros, más un mantenimiento anual de hasta 100,000 euros. Además, utiliza materiales consumibles más costosos y requiere formación especializada para el personal médico, lo que representa un desafío financiero para muchos hospitales.



Por otro lado, la cirugía tradicional tiene una inversión inicial menor, ya que no necesita equipamiento costoso. Sin embargo, esta técnica suele requerir un mayor consumo de recursos humanos y tiempo, ya que las intervenciones son más largas y demandan más personal, lo que incrementa los costos operativos y el uso de recursos hospitalarios debido a un tiempo de recuperación más prolongado.

En cuanto a costes, se aprecia como la cirugía robótica tiene costos significativamente más altos debido a la necesidad de inversión en tecnología avanzada y en la formación de personal. Sin embargo, estos costos pueden ser compensados parcialmente por los beneficios a largo plazo, como menos complicaciones y estancias hospitalarias más cortas.

Pero ¿Qué podemos decir en cuanto a beneficios? La cirugía robótica ofrece varios beneficios importantes en comparación con la cirugía tradicional, como la reducción de complicaciones, ya que disminuye la incidencia de complicaciones postoperatorias, como infecciones y errores quirúrgicos, aliviando la carga sobre el sistema sanitario al reducir tratamientos adicionales y hospitalizaciones prolongadas. Cuenta con un menor tiempo de recuperación, ya que experimentan menos dolor posoperatorio, cicatrices más pequeñas y una recuperación más rápida, disminuyendo la duración de la estancia hospitalaria y la necesidad de rehabilitación.), menor necesidad de personal ya que el robot realiza tareas con gran precisión, lo que requiere menos intervención humana.

Si bien es cierto que estos procedimientos cuentan con una mayor dependencia tecnológica, a diferencia de la cirugía convencional que no requiere equipos costosos ni formación especializada, lo que facilita su implementación en hospitales.

Aunque la cirugía robótica implica costos elevados por la inversión en tecnología avanzada y la formación del personal, estos gastos pueden ser compensados a largo plazo gracias a beneficios como una menor tasa de complicaciones y estancias hospitalarias más cortas. A continuación, se presentan dos tablas de coste y beneficio de una cirugía realizada con tecnología robótica frente a una cirugía tradicional.

**Tabla 3. Comparación de Costes entre Cirugía Robótica y Cirugía Tradicional**

Aspecto	Cirugía Robótica	Cirugía Tradicional (Abierta)
Costo de equipo	Alto (inversión en robots y mantenimiento)	Bajo (instrumentos quirúrgicos básicos)
Costo por procedimiento	Alto (requerimiento de uso del robot)	Bajo (sin equipos sofisticados)
Costos de instalación	Muy alto (salas especializadas)	Bajo (infraestructura estándar)
Duración de la cirugía	Moderada a larga (tiempo de preparación)	Variable (generalmente más larga)
Requerimiento de personal	Mayor (equipo especializado)	Menor (equipo quirúrgico convencional)
Costos de formación	Alto (entrenamiento para uso del robot)	Bajo

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 4. Comparación de Beneficios entre Cirugía Robótica y Cirugía Tradicional**

Aspecto	Cirugía Robótica	Cirugía Tradicional (Abierta)
Precisión quirúrgica	Muy alta (mejora en movimientos finos)	Moderada (movimientos limitados)
Invasividad	Baja (mínimamente invasiva)	Alta (corte de grandes incisiones)
Tiempo de recuperación	Corto (días a semanas)	Largo (semanas a meses)
Riesgo de complicaciones	Bajo (menor sangrado, menos infecciones)	Alto (mayor sangrado y riesgo de infecciones)
Dolor postoperatorio	Bajo (menor trauma)	Alto
Estancia hospitalaria	Corta (reducción de días en el hospital)	Larga (más tiempo de hospitalización)
Resultados estéticos	Excelentes (cicatrices pequeñas)	Moderados (cicatrices grandes)

**Fuente:** Elaboración propia

Este análisis sugiere que la cirugía robótica puede ser especialmente ventajosa en procedimientos complejos que requieran precisión extrema o donde se desee minimizar el trauma quirúrgico, aspectos como los que se presentan a continuación:

**Tabla 5. Ventajas Cirugía Robótica VS Cirugía Tradicional**

Robótica	Tradicional
<b>Mayor precisión:</b> Los brazos robóticos filtran el temblor natural de las manos, lo que resulta en movimientos más estables y exactos.	<b>Menor precisión:</b> Aunque los cirujanos son altamente entrenados, no pueden eliminar completamente el temblor de sus manos.
<b>Menor invasión:</b> Pequeñas incisiones lo que reduce significativamente el daño a los tejidos circundantes.	<b>Mayor invasión:</b> Puede requerir incisiones más grandes, dependiendo del tipo de cirugía, lo que genera mayor trauma en los tejidos.
<b>Mejor visualización:</b> Los sistemas de cirugía robótica ofrecen visualización tridimensional (3D) en alta definición, permitiendo al cirujano una mejor vista del campo quirúrgico, incluso en áreas de difícil acceso.	<b>Menor visualización:</b> La mayoría de las veces, los cirujanos dependen de su visión directa o de cámaras bidimensionales que pueden no ofrecer el mismo nivel de detalle.
<b>Reducción del dolor y tiempo de recuperación:</b> Al ser menos invasiva, los pacientes experimentan menos dolor postoperatorio y una recuperación más rápida.	<b>Mayor tiempo de recuperación.</b> Recuperación más lenta debido al mayor trauma quirúrgico asociado a incisiones más grandes.
<b>Menor pérdida de sangre y riesgo de infección:</b> La precisión en los movimientos y las incisiones pequeñas, reducen riesgos en la operación y posoperatorio.	A menudo hay más pérdida de sangre debido a incisiones más grandes y un mayor riesgo de infección postoperatoria.
<b>Mayor ergonomía para el cirujano:</b> Permite operar en una postura más cómoda reduciendo la fatiga del cirujano. (Ver Anexo 3)	El cirujano debe estar de pie y físicamente presente durante toda la operación, lo que puede generar fatiga en procedimientos prolongados.
<b>Acceso a áreas difíciles:</b> Los brazos robóticos son capaces de realizar movimientos más complejos y precisos en espacios pequeños.	En áreas anatómicas complicadas, puede ser difícil acceder sin generar más daño a los tejidos circundantes.
<b>Mayor consistencia en los resultados</b> La tecnología robótica permite una mayor estandarización reduciendo la variabilidad de los resultados.	Los resultados pueden variar más ampliamente dependiendo de la experiencia y habilidad del cirujano, especialmente en cirugías complejas.

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.3 Comparación de otras técnicas: Cirugía Laparoscópica

Hemos comparado la cirugía robótica con la cirugía tradicional, pero ¿qué sucede si extendemos la comparación a otras técnicas como la laparoscopia? Estas técnicas mínimamente invasivas también han mostrado importantes ventajas y es esencial evaluar sus resultados frente a la cirugía robótica para tener una visión más completa.

Según los estudios revisados (Ver Anexo 2), la laparoscopia demostró ser superior en términos de resultados cosméticos y satisfacción del paciente, aunque no se observaron diferencias significativas en la calidad de vida postoperatoria.

Este hallazgo pone de relieve la importancia de considerar no solo la eficacia clínica de un procedimiento, sino también aspectos subjetivos como la percepción del paciente y los resultados estéticos, que pueden influir notablemente en su satisfacción general.

Por otro lado, Niel Patel (2023) subraya que la laparoscopia es más rentable que la cirugía robótica, ya que requiere menos preparación prequirúrgica y menores costos asociados al equipamiento. A pesar de esto, también reconoce que la cirugía robótica ofrece ventajas en intervenciones que requieren una mayor precisión, lo que la convierte en una opción preferible en ciertos tipos de procedimientos quirúrgicos más complejos.

Aunque tanto la cirugía robótica como la laparoscopia comparten beneficios, como ser menos invasivas que las técnicas tradicionales y reducir el tiempo de recuperación, cada una tiene puntos fuertes en áreas específicas.

La elección entre ambas dependerá de las características del procedimiento, las preferencias del paciente y las consideraciones económicas y estéticas, lo que subraya la importancia de un enfoque individualizado en la planificación quirúrgica.

**Tabla 6. Ventajas Cir. por laparoscopia tradicional VS Cir. asistida por Robot**

Laparoscopia tradicional	Asistida por Robot
Mínimamente invasiva	Visión 3D
Tecnología bien desarrollada.	Mayor posibilidad de movimientos
Eficacia comprobada	Diseño ergonómico
	Posible realizar telecirugía
	Eliminación del temblor
	Mayor comodidad para el cirujano
	Mayor precisión
	Permite realizar micro-cirugía
	Permite gran magnificación del campo

**Fuente:** Elaboración propia a partir de [Revista N°1 - 2008.indd \(scielo.cl\)](#)

**Tabla 7. Desventajas Cir. Laparoscopia tradicional VS asistida por Robot**

Laparoscopia tradicional	Asistida por Robot
Pérdida de sentido de tacto	Pérdida de sentido de tacto
Visión sin sentido de profundidad	Tecnología de alto costo
Movimientos limitados	
Transmisión de temblor del cirujano	
No ergonómico	

**Fuente:** Elaboración propia a partir de [Revista N°1 - 2008.indd \(scielo.cl\)](#)

A lo largo de los años, se han llevado a cabo numerosos estudios y análisis que comparan la cirugía robótica con otras técnicas quirúrgicas tradicionales, como la cirugía abierta o la laparoscopia. Estas investigaciones buscan evaluar tanto los beneficios clínicos como los económicos de cada enfoque. Sin embargo, a pesar del volumen de datos generados, no se han obtenido conclusiones definitivas que justifiquen de manera categórica el uso de la cirugía robótica en lugar de otras alternativas.

Uno de los principales factores de discusión en torno a la cirugía robótica es su elevado coste inicial, debido a la inversión necesaria en equipos de alta tecnología y los gastos asociados al mantenimiento de los mismos.

Aunque se ha argumentado que la precisión que ofrece este tipo de cirugía podría traducirse en mejores resultados clínicos, como una menor pérdida de sangre, una recuperación más rápida o una reducción en el tiempo de hospitalización, los estudios no han logrado establecer de forma clara que estos beneficios compensen los elevados costes.

Asimismo, algunos análisis destacan que la cirugía robótica aún depende en gran medida de la habilidad y experiencia del cirujano que opera, lo que introduce una variabilidad en los resultados obtenidos.

En contraste, otras técnicas quirúrgicas, como la laparoscopia, han demostrado ser altamente eficaces y requieren una inversión significativamente menor. Por lo tanto, sigue existiendo un debate abierto sobre la relación costo-beneficio de la cirugía robótica, sin que se pueda afirmar de manera concluyente que los beneficios clínicos justifiquen plenamente la inversión económica que implica su implementación generalizada.

### III. CUESTIONES ÉTICAS Y DE SEGURIDAD

La inteligencia artificial (IA) provocará cambios sustanciales en la sociedad. Esta revolución plantea nuevos desafíos que la regulación actual no puede resolver completamente. Surgirán grandes dilemas relacionados con la consolidación, calidad y cohesión de la implementación de la IA. Por ello, el Derecho deberá abordar esta tecnología disruptiva que transformará la asistencia sanitaria.

Es imprescindible abordar no solo cuestiones jurídicas, sino también sociales, económicas, sanitarias y éticas, con el objetivo de garantizar la libertad, autonomía y seguridad de las personas.

Existen además importantes interrogantes sobre el diseño y funcionamiento de estas tecnologías una vez integradas en el sector salud. Esto incluye aclarar aspectos como la condición jurídica del robot, si deben contar con un régimen especial de derechos y obligaciones, quién asume la responsabilidad por las acciones y omisiones de sistemas autónomos e impredecibles, y cuáles son las medidas organizativas, técnicas y legales mínimas necesarias para garantizar su desarrollo seguro y minimizar los riesgos para las personas.

Una regulación eficaz generará confianza en el uso de dispositivos y aplicaciones, además de ofrecer garantías éticas y jurídicas, lo cual es esencial tanto para los ciudadanos y pacientes como para los proveedores de servicios, instituciones y autoridades.

#### 3.1 Unión Europea y Normativa

La magnitud del desafío está llevando a la UE a abordar los problemas jurídicos que se plantean. La regulación sobre la cirugía robótica se encuentra alineada con las normativas de dispositivos médicos como por ejemplo el Reglamento de la Unión Europea (UE) 2017/745 establece estrictos requisitos de seguridad y rendimiento para estos dispositivos, garantizando que cumplan con altos estándares de calidad antes de su uso en entornos clínicos o la obtención del marcado de Certificación Europea (CE) que es un requisito obligatorio para cualquier equipo médico, incluidos los sistemas quirúrgicos robóticos.

Asimismo, la Directiva 2005/36/CE regula la formación y competencias de los profesionales sanitarios, asegurando que los cirujanos reciban la capacitación adecuada antes de llevar a cabo procedimientos con asistencia robótica.

La protección de datos es un ámbito fundamental dentro del marco legal que regula los efectos de la inteligencia artificial en la sociedad. En este contexto, cobra relevancia el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 27 de abril de 2016, más conocido como Reglamento General de Protección de Datos (RGPD).

Este reglamento garantiza un alto nivel de protección de los datos personales y establece principios como la protección de datos desde el diseño y por defecto, asegurando que el tratamiento de datos respete los derechos y libertades fundamentales de las personas físicas.

### 3.1.1 Proyecto RoboLaw

El proyecto RoboLaw: ‘Regulación de las tecnologías emergentes en Europa: Robótica frente a la ley y la ética’, surgió en marzo de 2012, por la Comisión de Asuntos Jurídicos de la Unión Europea, y podría decirse que supuso el primer antecedente de regulación jurídica de los robots en la UE al tratar de estudiar y comprender las implicaciones legales y éticas de las tecnologías robóticas emergentes.

Fue financiado por el 7º Programa Marco de la Comisión Europea para la Investigación y el Desarrollo Tecnológico con el objetivo de evaluar si la regulación existente en la UE era suficiente para abordar los diversos problemas legales planteados por la tecnología robótica y así poder incentivar la innovación europea, en el sector de la robótica y la IA.

El proyecto concluyó con un informe final que contiene las Directrices sobre la regulación de la robótica, que se presentó el 22 de septiembre de 2014.<sup>2</sup>

Entre las propuestas se encuentran la creación de una personalidad jurídica propia para los robots o la posibilidad de que la responsabilidad recayera sobre el propietario del robot.

### 3.2 Impacto ético en la innovación médica

La cirugía robótica, impulsada por la inteligencia artificial (IA), se está consolidando como una realidad transformadora, aunque también representa un desafío para los marcos normativos de cualquier Estado. En la Unión Europea, se están desarrollando iniciativas para abordar las incertidumbres que surgen con esta tecnología y fomentar la confianza en su uso. Dado que los métodos tradicionales de regulación no son completamente aplicables, es fundamental buscar un nuevo enfoque que se adapte a las particularidades de la cirugía robótica.

Otro desafío que considerar es el impacto económico y ético que podría surgir si los robots o la IA reemplazan a los humanos en determinadas funciones. Por esta razón, instituciones, empresas y gobiernos están acelerando la creación de códigos internos, manifiestos e incluso normativas específicas para controlar estas tecnologías dentro del ámbito sanitario.

En este marco, es crucial prestar especial atención a las cuestiones éticas y legales relacionadas con la cirugía asistida por robots. Estas consideraciones deben ser abordadas con urgencia, antes de que se implementen soluciones parciales y no sistemáticas a nivel nacional. Tales soluciones podrían obstaculizar la colaboración transfronteriza entre Estados, afectar a las empresas y limitar la prestación de servicios debido a la necesidad de cumplir con diversas normativas. Además, incrementarían el número de controversias comerciales y aumentarían la incertidumbre respecto al rendimiento de las inversiones en este campo.

Es igualmente necesario analizar y responder a las cuestiones de responsabilidad, diligencia debida y contratos relacionados con los sistemas de inteligencia artificial en el contexto quirúrgico. Esto incluye la clarificación de la condición jurídica de la inteligencia artificial y la atribución de responsabilidad por sus actos en un entorno médico, donde la precisión y la seguridad son primordiales.

---

<sup>2</sup> Directrices sobre la regulación de la robótica: [Template of the project deliverables \(roboLaw.eu\)](http://roboLaw.eu)

## IV. NUEVAS APLICACIONES

La robótica aplicada a la sanidad está transformando radicalmente la forma en que se brindan los cuidados médicos, con aplicaciones que van desde cirugías asistidas por robots hasta la automatización de tareas repetitivas en hospitales

El avance de tecnologías emergentes como el 5G o la inteligencia artificial (IA) están abriendo nuevas posibilidades para procedimientos más precisos, menos invasivos y con mayor grado de optimización en recursos, pero sobre todo volviendo más eficiente al sector de la sanidad, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos, ampliando el acceso a determinados tratamientos y reduciendo los riesgos asociados de muchos de ellos.

Entre los aspectos innovadores aplicados a este ámbito podemos obtener ejemplos de diferentes campos que analizamos a continuación como la cirugía, el diagnóstico y el tratamiento y personalización de este.

### 4.1 Cirugía Remota (5G).

La cirugía robótica está en constante evolución, y su futuro promete avances significativos gracias a la integración de tecnologías emergentes. Aunque el futuro es incierto en muchos aspectos de la vida, en lo que respecta a la cirugía robótica parece no ser así.

Cada día nacen nuevas características y modelos que continúan mejorando los sistemas robóticos actuales. Entre las aplicaciones más destacadas se encuentra la cirugía remota, impulsada por la implementación de la tecnología de comunicaciones 5G. Esta evolución ha beneficiado a una amplia gama de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT), y en el ámbito de la cirugía robótica, aunque su aplicación aún no es común, se han realizado estudios y pruebas en entornos remotos tanto en modelos animales como en humanos.

La tecnología 5G no solo abre la puerta a la realización de cirugías a distancia, sino que también permite la formación de profesionales médicos sin necesidad de que el equipo esté físicamente presente en la misma ubicación. Esto reduce costos y amplía la disponibilidad de capacitación para un mayor número de profesionales, mejorando así la calidad de la atención médica.

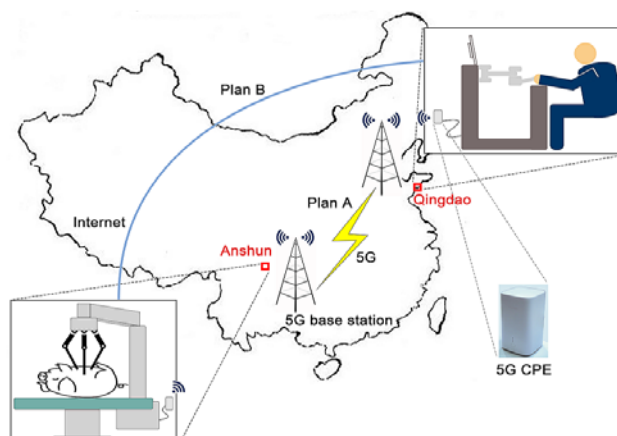
Un ejemplo significativo de esta aplicación se puede encontrar en el estudio titulado “Zheng, J., Wang, Y., Zhang, J. et al. 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China. Surg Endosc 34, 5172–5180 (2020)”.

En este trabajo, se llevaron a cabo cuatro cirugías laparoscópicas en un paciente porcino utilizando un robot Micro Hand, a una distancia aproximada de 3,000 km, aprovechando una red de comunicaciones 5G. Los resultados fueron prometedores: se registraron tasas de retraso de 264 ms y una pérdida de paquetes del 1.20%, junto con una pérdida de sangre mínima (25 ml) y sin complicaciones.

Este estudio demuestra que es posible realizar cirugías a distancia con un alto grado de seguridad, sentando un precedente importante para el desarrollo futuro de la “telecirugía”.



**Figura 5. Esquema infraestructura del ensayo**



**Fuente:** 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China

**Ilustración 30. Extremo de mando Microhand y quirofano**



**Fuente:** 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China

Por otro lado, y de manera más reciente, tenemos el hito realizado el 11 de septiembre de 2024 en el que un médico español opera a un paciente ubicado en Pekín.

**Ilustración 31. Telecirugía Fundació Puigvert BCN**



**Fuente:** Fundació Puigvert BCN

La operación de telecirugía, realizada a más de 8.000km de distancia y con una latencia máxima de 132ms, consistió en la extirpación de un tumor en el riñón del paciente (nefrectomía parcial). Fue realizada por el Dr. Alberto Breda, jefe Urología Oncológica y del equipo quirúrgico de Trasplante Renal del citado Hospital, especializado en urología, nefrología, andrología y medicina reproductiva.

Otro ejemplo de esta modalidad de cirugía anterior a la tecnología 5G, e hito importante para la misma al convertirse en la primera operación transatlántica, es la famosa “operación Lingberg”, realizada en septiembre de 2001 en un quirófano de Estrasburgo, Francia.

Esta operación, con una duración de 54 minutos, se llevó a cabo por el Dr. Jacques Marescaux en un despacho ubicado en Manhattan, Nueva York, a cerca de 7.000km de distancia. La operación consistía en una colecistectomía (intervención quirúrgica que se realiza para extraer la vesícula biliar).

El equipo robótico estaba formado por dos brazos robóticos ZEUS y un brazo AESOP para el control de video y endoscopio.



**Ilustración 32. Charles Lindbergh 1927**

*Charles Lindbergh, piloto que dio nombre a la operación al realizar el simil con el hito del primer vuelo transatlántico en 1927*

**Fuente:** Missouri Historical Society

**Ilustración 33. Sendos extremos de la cirugía Lindbergh**



**Fuente:** Infobae

A medida que la cirugía robótica y la tecnología 5G continúan evolucionando, es probable que veamos un aumento en la adopción de estos enfoques innovadores, mejorando aún más la atención sanitaria y el acceso a tratamientos quirúrgicos de calidad.



## 4.2 Nanorrobótica

“*Los nanobots podrían hacer inmortal al ser humano en 2030*” (Raymond Kurzweil, Director de Ingeniería de Google). ¿Será este el tipo de noticia al que debemos acostumbrarnos?

Sin lugar a duda se trata de otro de los sectores prometedores de la robótica aplicada a la medicina, el campo de la nanorrobótica y, en general, las nanotecnologías.

Por definición nos referimos a la robótica en escala nanométrica (0,1 a 10 micrómetros) y se trata de una tecnología de carácter mayoritariamente teórico o experimental. No obstante, es cierto que materiales descubiertos en las últimas décadas, y materiales de los que hemos obtenido mayor control para su manipulación y aplicación recientemente, como el carbono y grafeno, han hecho posibles las primeras incursiones prácticas en esta materia.

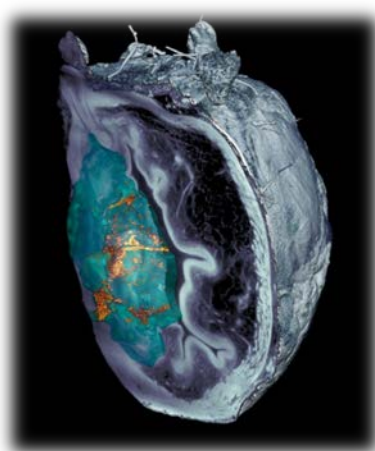
Un claro ejemplo de ello es el proyecto UNANO (Ultrasonic Nanonetworks). Se trata de un proyecto de investigación internacional, de carácter europeo y cuyo participante español es la Universidad Complutense de Madrid, liderada por Álvaro Martínez del Pozo, catedrático de Bioquímica de la propia Universidad.

*“El proyecto Unano es un consorcio de laboratorios de las principales universidades de investigación europeas que trabajan juntos para construir nuevas estructuras y dispositivos utilizando moléculas biológicas.”* (<https://unano.org/>)

Uno de los objetivos de este proyecto es desarrollar la protocolos y mecanismos de comunicación entre nanorrobots, y la creación de una plataforma que lo facilite. Esto es esencial para escenarios como la biomedicina, donde los nanorrobots deberán interactuar entre sí para lograr tareas complejas dentro del cuerpo humano.

Por otro lado, destaca el proyecto español publicado en *Nature Nanotechnology* y liderado por un equipo de investigadores españoles pertenecientes al IBEC (Instituto de Bioingeniería de Cataluña), con la colaboración del Instituto de Investigación Biomédica (IRB Barcelona) y de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). En dicho estudio han conseguido desarrollar nanorrobots capaces de atacar células cancerígenas en la vejiga de ratones impulsándose con la urea presente en la orina y atacando las células afectadas con un radioisótopo que transportan en su superficie.

### **Ilustración 34. Nanorrobots en el tumor visualizado por microscopía.**



**Fuente:** IBEC Barcelona (<https://ibecbarcelona.eu/>)

Según los resultados, los nanorrobots han sido capaces de reducir el volumen de este tipo de células en un 90% en una sola dosis, suponiendo un gran avance en el campo de la bioingeniería y la nanotecnología, multiplicando la efectividad de un tratamiento tradicional en el que el paciente acude habitualmente entre 6 y 14 veces al Hospital, reduciendo además el tiempo de hospitalización y coste del tratamiento.

Una cosa parece clara, aunque estamos viendo el nacimiento de la aplicación de esta tecnología, augura un disruptivo futuro que puede sentar las bases de una nueva etapa para la biomedicina e ingeniería en el que quizás si podamos hacer realidad titulares que hoy damos por distópicos.

## V. CONCLUSIÓN

La evolución de la robótica en la última década ha tenido un impacto significativo en el ámbito de la cirugía, transformando la forma en que se realizan procedimientos médicos y se enseña la práctica quirúrgica.

La incorporación de tecnologías avanzadas, como la cirugía robótica, ha mejorado las técnicas quirúrgicas en especialidades clave como Urología, Cirugía General y Ginecología. A través de la telecirugía, la simbiosis de imágenes y la formación virtual, se han establecido nuevos modelos de tratamiento que han demostrado ser efectivos y han permitido una cirugía menos invasiva.

A pesar de que la cirugía robótica aún enfrenta desafíos en cuanto a costos y la necesidad de formación especializada, los resultados hasta la fecha son alentadores. Se ha evidenciado que esta tecnología no solo supera a la cirugía laparoscópica, sino que también se posiciona como una opción preferible frente a la cirugía abierta en ciertos casos, gracias a su mayor seguridad y calidad, así como a la reducción de riesgos asociados.

Es importante señalar que, aunque el sistema Da Vinci y otros sistemas robóticos son herramientas valiosas que permiten una mayor precisión y menores complicaciones postoperatorias, la cirugía tradicional sigue siendo necesaria en ciertos escenarios. La transición hacia la adopción masiva de la robótica médica es un proceso que requiere tiempo, inversión y un enfoque cuidadoso en la formación de los profesionales de la salud.

Por lo tanto, es fundamental que los Servicios de Salud impulsen la implementación de la cirugía robótica, especialmente en hospitales con un alto volumen de cirugías complejas, para maximizar sus beneficios y mejorar la atención al paciente.

En el ámbito privado, la cirugía robótica ha demostrado ser un valor diferenciador, pero su accesibilidad sigue siendo un desafío.

En conclusión, la robótica médica representa un avance notable en la medicina moderna, ofreciendo beneficios tangibles en términos de eficacia, seguridad y bienestar del paciente. Sin embargo, no debemos olvidar la importancia de la relación médico-paciente, que sigue siendo esencial en la práctica médica, incluso en un entorno cada vez más automatizado. El futuro de la cirugía robótica dependerá de la integración armónica entre tecnología y atención personalizada, garantizando que los avances tecnológicos continúen al servicio de la salud y el bienestar de las personas.

## VI. BIBLIOGRAFIA

### 6.1 Doctrina

CÁRCAR BENITO, E.J., “La inteligencia artificial, aplicación jurídica y regulación en los servicios de salud”, *Revista Derecho y Salud*, vol 29, nº Extra 1, 2019, págs. 265-27. Obtenido de: [Dialnet-LaInteligenciaArtificialIA-7097136.pdf](https://dialnet-laia-7097136.pdf)

Castillo, O. A., & Vidal, I. (2012). Cirugía robótica. *Revista chilena de cirugía*, 64(1), 88-91. Obtenido de: [art16.pdf \(scielo.cl\)](https://art16.pdf/scielo.cl)

García Micó, T. G. (2014). Cirugía robótica con el robot Da Vinci®: una perspectiva de derecho regulatorio y litigación en sede de derecho de daños. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10230/23247>

Gómez-González, E., Gomez, E., Márquez-Rivas, J., Guerrero-Claro, M., Fernández-Lizaranzu, I., Relimpio-López, M. I., ... & José, M. (2020). Inteligencia Artificial en Medicina y Salud: revisión y clasificación de las aplicaciones actuales y del futuro cercano, y su impacto ético y social. *arXiv preprint arXiv:2001.09778*. Obtenido de: [333938973.pdf \(core.ac.uk\)](https://arxiv.org/pdf/2001.09778v1.pdf)

Hurtado, K., & Londoño, D. COSTO EFECTIVIDAD DE LA CIRUGÍA ROBÓTICA VS LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA CONVENCIONAL EN EL TRATAMIENTO DEL CÁNCER DE PRÓSTATA.

José Manuel Díaz Pavón, Fernando de la Portilla de Juan. Cirugía robótica. Un avance tecnológico de presente y futuro. Volume 89, Issue 10, 2011, Pp. 633-634. ISSN 0009-739X. Obtenido de: <https://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-espanola-36-articulo-cirugia-robotica-un-tecnologico-presente-S0009739X11001576>

LA CIRUGIA ROBÓTICA, D. A. G. E-mail [email protected]. *Neoplasia*, 19(185), 130-240. Obtenido de: [.: ENDOSURGERY .: \(seclae.org\)](https://www.seclae.org/revistas/ENDOSURGERY)

Maeso-Martinez, Sergio & Callejo, Daniel & Guerra, Mercedes & Blasco, Juan Antonio. (2011). Revisión Sistemática de las evaluaciones económicas de la cirugía mediante equipo quirúrgico da Vinci. ISBN 978-84-451-3423-8. Obtenido de: [Repositorio bvirtual de PublicaMadrid](https://repositorio.bvirtual.depublicamadrid.es/handle/10261/10261)

Marescaux, J., (2013). Estado actual de la cirugía. Cirugía robótica y telecirugía. Cirugía y Cirujanos, 81(4), 265-268. ISSN: 0009-7411. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66228318001>

Martín, P. J. C., Gracia, M., Mena, M. R., del Amo, M. B., García-Santos, J., & Laiz, M. F. (2022). El bienestar del cirujano ginecológico mejora con la cirugía asistida por

robot. In *Anales de la Real Academia Nacional de Medicina* (Vol. 139, No. 03, p. 294). Real Academia Nacional de Medicina. Obtenido de: [analesranm\\_13903.pdf](#)

MONTERROSO CASADO, E. “Responsabilidad civil por daños causados por robots en el ámbito sanitario”, en MUÑOZ VILLAREAL, A. (Coord.), *Inteligencia artificial y riesgos cibernéticos. Responsabilidades y aseguramientos*, Tirant lo Blanch, Valencia, 2019, pg. 105.

Moreno-Portillo, M., Valenzuela-Salazar, C., Quiroz-Guadarrama, C. D., Pacheco-Gahbler, C., & Rojano-Rodríguez, M. (2014). Cirugía robótica. *Gaceta Médica de México*, 150(s3), 293-297. Obtenido de: [GMM 150 2014 S3 293-297.pdf \(anmm.org.mx\)](#)

Murillo, A. M. (2018). Retos Regulatorios en torno a la Inteligencia Artificial. *Pensar-Revista de Ciências Jurídicas*, 23(4), 1-13. Obtenido de: [Vista do Retos Regulatorios en torno a la Inteligencia Artificial \(unifor.br\)](#)

Orihuela, R. J. P. (2015). Robot Da Vinci: El quirófano del futuro. *Perfiles de Ingeniería*, 11(11). Obtenido de: [Vista de Robot Da Vinci: El quirófano del futuro \(urp.edu.pe\)](#)

Patel, N., Chaudhari, K., Jyotsna, G., y Joshi, J. (2023). Surgical Frontiers: A Comparative Review of Robotics Versus Laparoscopy in Gynecological Interventions. *Cureus*, 15(11). doi: <https://doi.org/10.7759/cureus.49752>

Ricci, P., Lema, R., Solá, V., Pardo, J., & Guiloff, E. (2008). Desarrollo de la cirugía laparoscópica: pasado, presente y futuro: desde Hipócrates hasta la introducción de la robótica en laparoscopia ginecológica. *Revista chilena de Obstetricia y Ginecología*, 73(1), 63-75. Obtenido de: [DESARROLLO DE LA CIRUGÍA LAPAROSCOPICA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO: DESDE HIPÓCRATES HASTA LA INTRODUCCIÓN DE LA ROBÓTICA EN LAPAROSCOPIA GINECOLÓGICA \(scielo.cl\)](#)

Romero Otero, Javier, Paparel, Philippe, Atreya, Dash, Touijer, Karim, & Guillonnet, Bertrand. (2007). Antecedentes, desarrollo y situación actual de la robótica en cirugía. *Archivos Españoles de Urología* (Ed. impresa), 60(4), 335-341. Obtenido de: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06142007000400002&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06142007000400002&lng=es&tlng=es)

Romero-Tamarit A, Reig Viader R, Estrada Sabadell MD, Espallargues Carreras M. Eficacia, efectividad, seguridad y eficiencia de la cirugía robótica con el sistema quirúrgico Da Vinci. Barcelona: Agència de Qualitat i Avaluació Sanitàries de Catalunya; 2020. Obtenido de: [Generalitat de Catalunya](#)

- Simó, C., Serra-Casablanques, M., Hortelao, A.C. et al. Urease-powered nanobots for radionuclide bladder cancer therapy. *Nat. Nanotechnol.* 19, 554–564 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41565-023-01577-y>
- Sitges-Serra, A. (2023). Ética de la innovación médica. *Euphyía*, 17(32), 150-182. Obtenido de: [Vista de Ética de la innovación médica \(uaa.mx\)](https://www.uaa.mx/vista-de-etica-de-la-innovacion-medica)
- Valero, R., Ko, Y. H., Chauhan, S., Schatloff, O., Sivaraman, A., Coelho, R. F., ... & Patel, V. R. (2011). Cirugía robótica: Historia e impacto en la enseñanza. *Actas urológicas españolas*, 35(9), 540-545. Obtenido de: [Cirugía robótica: Historia e impacto en la enseñanza \(isciii.es\)](https://www.isciii.es/cirugia-robotica-historia-e-impacto-en-la-ensenanza)
- Anexo 1. Autorización de la lectura y defensa del Trabajo Fin de Máster.
- Anexo 2. Resultados y ventajas de la cirugía laparoscópica, robótica y endoscópica de los últimos años (2019-2023). Obtenido de: [9572-Texto del artículo-47318-2-10-20240212 \(3\).pdf](https://www.elsevier.com/locate/S0957267620240212)
- Anexo 3. Veinticinco años de responsabilidad social. August Corrons Giménez 25 años de evolución responsable hacia la sostenibilidad. *Oikonomics* (Núm. 17, marzo 2022) ISSN 2339-9546. Universitat Oberta de Catalunya. Revista de los Estudios de Economía y Empresa. Obtenido de: [25 años de evolución responsable hacia la sostenibilidad \(uoc.edu\)](https://www.uoc.edu/25-anos-de-evolucion-responsable-hacia-la-sostenibilidad)
- Anexo 4. Aspectos éticos y sociales de la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías mediadas por la IA en Medicina y Salud ordenados en tres grupos (G1, G2 y G3). Se resaltan algunas cuestiones clave relevantes y conflictivas y controversias para cada aspecto. Obtenido de: [333938973.pdf \(core.ac.uk\)](https://www.core.ac.uk/333938973.pdf)

## 6.2 Fuentes normativas y reglamentarias

- Directiva 2005/36/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de septiembre de 2005, relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales. Recuperado de: [1\\_25520050930es00220142.pdf\(boe.es\)](http://1_25520050930es00220142.pdf(boe.es))
- Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos). Recuperado de: [REGLAMENTO \(UE\) 2016/ 679 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 27 de abril de 2016 - relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/ 46/ CE \(Reglamento general de protección de datos\) \(boe.es\)](#)

Reglamento (UE) 2020/561 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2020 por el que se modifica el Reglamento (UE) 2017/745 sobre los productos sanitarios en relación con las fechas de aplicación de algunas de sus disposiciones. Recuperado de [L00018-00022.pdf \(boe.es\)](https://www.boe.es/boe/L00018-00022.pdf)

### 6.3 Referencias Web

Avances de la tecnología robótica. Obtenido de: <https://comofuncionaque.com/historia-de-la-robotica/>

Dossier de Prensa ABEX. Obtenido de: <https://www.abexsl.es/f/documenti/Dossier%20de%20Prensa%20ABEX%202023.pdf>

Fundació Puigvert. Nota de prensa: ([https://www.fundacio-puigvert.es/wp-content/uploads/2024/09/240918\\_NdP\\_BREDA-telecirurgia\\_DEF\\_ESP-1.pdf](https://www.fundacio-puigvert.es/wp-content/uploads/2024/09/240918_NdP_BREDA-telecirurgia_DEF_ESP-1.pdf))

HM Hospitales. Nota de prensa: (<https://www.hmhospitales.com/prensa/notas-de-prensa/estudios-comparativos-ivec-cirurgia-robotica-salud-del-paciente>)

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA). Obtenido de: [¿Qué es la FDA, ¿cuál es su función y qué productos regula? - AS USA](#)

LA CIRUGIA ROBÓTICA DEL APARATO GASTROINTESTINAL, U. O. A. di Chirurgia Generale - Ospedale Civile Camposampiero (Padova), D'Annibale A., Orsini C., Morpurgo E., Sovernigo G., Masiero V., Menin N. 2011-2004. Obtenido de: [:: ENDOSURGERY :: \(seclaendosurgery.com\)](#)

La sanidad española alberga al menos 150 robots quirúrgicos, Rocio Antolín, 4/06/2024, (Madrid). Obtenido de: [La sanidad española alberga al menos 150 robots quirúrgicos \(eleconomista.es\)](#)

New Medical Economics, Revista especializada en el sector sanitario. Obtenido de: <https://www.newmedicaleconomics.es/>

ROSA (Robotic Surgery Assistant). Obtenido de: [El robot ROSA, la tecnología que revoluciona la prótesis de rodilla \(prensasocial.es\)](#)

The UNANO Project. Obtenido de: <https://unano.org/>

Universidad Complutense de Madrid. Nota de prensa: (<https://tribuna.ucm.es/news/el-proyecto-unano-abraza-la-filosofia-central-de-una-europa>)



## VII. ANEXOS

### Anexo 1. Autorización de la lectura y defensa del Trabajo Fin de Máster.

<b>ALUMNOS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calvo Figueroa, Iván Carlos</li><li>- Díaz García, Ana María</li><li>- Serrano Garcia-Ortega, Juan José</li></ul>
<b>TRABAJO FIN DE MÁSTER</b>	<b>LA CIRUGIA ROBÓTICA:</b> Efectividad de la cirugía robótica frente a la cirugía tradicional en determinados procedimientos quirúrgicos.

**D. Ángel Blanco Rubio**

**D. José María Leal Pozuelo**

Como Tutores del Trabajo Fin de Máster arriba reseñado considera que ha sido realizado de acuerdo con las normas exigidas y reúne las condiciones de calidad necesarias para su presentación y defensa.

En Madrid, a 2 de octubre de 2024

## Anexo 2. Resultados y ventajas de la cirugía laparoscópica, robótica y endoscópica de los últimos años (2019-2023).

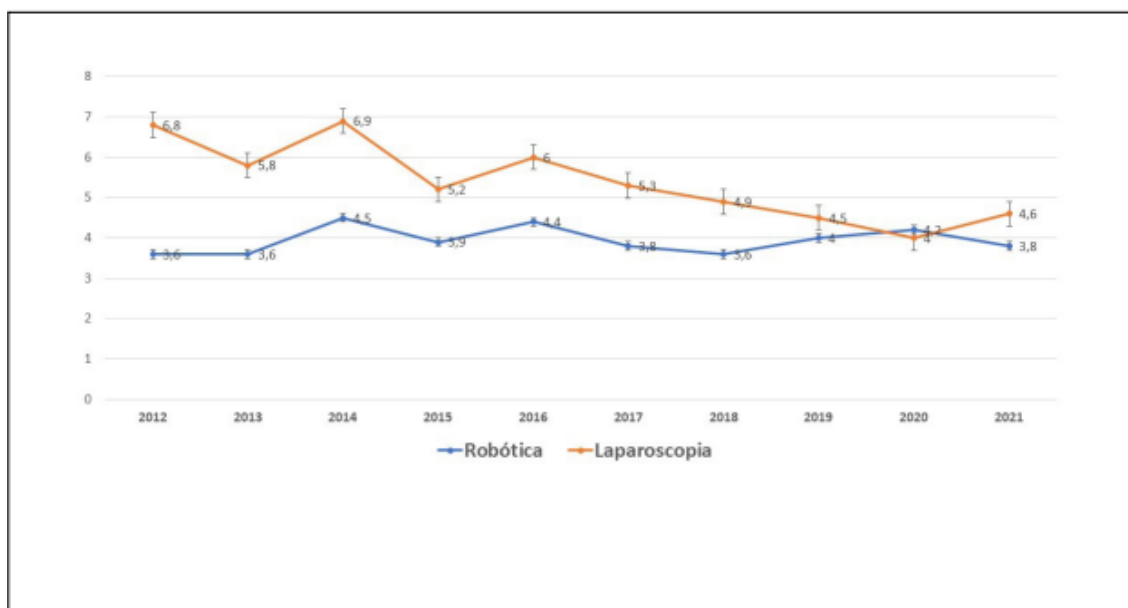
Autor	Año	Título	Objetivos	Materiales Métodos	Conclusión
Esra Ozbasli, Ozguc Takmaz, Nazlı Albayrak, Mete Gungor.	2022	Cosmetic Outcome of Robotic Surgery Compared to Laparoscopic Surgery for Benign Gynecologic Disease	Comparar los resultados cosméticos, la satisfacción del paciente y la calidad de vida de pacientes que se sometieron a cirugía laparoscópica asistida por robot multipuerto para enfermedades ginecológicas benignas	Estudio de cohorte prospectivo no aleatorizado que incluyó sesenta y cuatro participantes	Los resultados de la escala cosmética y de satisfacción fueron mejores en los pacientes sometidos a laparoscopia. No hubo diferencias en la calidad de vida.
Nainita Patel, Kamlesh Chaudhari, Garapati Jyotsna, Jalormy Joshi.	2023	Surgical Frontiers: A Comparative Review of Robotics Versus Laparoscopy in Gynecological Interventions	Presentar una revisión integral de las intervenciones laparoscópicas y robóticas en ginecología	Revisión de la literatura actualizada	Los costos son mejores en intervenciones laparoscópicas, así como la preparación quirúrgica requerida, en comparación con las intervenciones robóticas. En cambio, las intervenciones robóticas pueden ser útiles en procedimientos que requieren mayor precisión. La disminución del dolor, estancia hospitalaria, recuperación más rápida junto a la seguridad y complicaciones son características que comparten ambas

intervenciones					
Sorayouth Chumnanvej, Krish Ariyaprakai, Branesh M. Pillai, Jackrit Suthakorn, Sharvesh Gurusamy, Siriluk Chumnanvej	2023	Cost-effectiveness of robotic-assisted spinal surgery: A single-center retrospective study	Comparar la rentabilidad de cirugías robóticas de columna y las cirugías no robóticas de columna para la enfermedad degenerativa de la columna.	Estudio retrospectivo que incluyó 122 pacientes.	La relación costo efectividad fue de \$22,572, pero disminuyó a \$16,980 al considerar casos con solo 1 o 2 niveles espinales operados. Las cirugías robóticas de columna se consideran rentables cuando la disposición a pagar es de \$3000 a \$4000 si se instrumentan menos de dos niveles espinales operados.
Jacob M Broome, Erin E Coonan, Austin T Jones, Matthew D Zelhart	2023	Combined Endoscopic Robotic Surgery for Complex Colon Polyps	Evaluar la seguridad y los resultados de la cirugía robótica endoscópica combinada.	Estudio retrospectivo que incluyó 88 pacientes.	La cirugía robótica endoscópica combinada se asoció con una disminución de los tiempos de operación y la recurrencia de pólipos en el sitio de resección
Michal Kawka, Yuman Fong, Tamara M. H. Gall	2023	Laparoscopic versus robotic abdominal and pelvic surgery: a systematic review of randomised controlled trials	Revisar sistemáticamente ensayos controlados aleatorios que compararan técnicas robóticas y laparoscópicas en cirugía mayor	Se incluyeron 45 estudios, en 13 procedimientos, con 7364 pacientes.	No hubo diferencias significativas entre la cirugía robótica y la cirugía laparoscópica con respecto a los resultados de mortalidad y morbilidad en la mayoría de los estudios de cirugía abdominal y pélvica. La cirugía robótica se asoció frecuentemente con tiempos operatorios más prolongados y un mayor costo general.
Kenji Kawashima, Takahiro Kanno,	2019	Robots in laparoscopic surgery: current and	Presentar una revisión integral del impacto de los robots en la	Revisión de la literatura actualizada	Las cirugías robóticas laparoscópicas combinadas podrían

Kotaro Tadano		future status	cirugía laparoscópica		ser a futuro un estándar en las cirugías.
Xavier Serra-Aracila, Esther Gil Barrionuevo, Eva Martínez, Laura Mora-López, Anna Pallisera-Lloveras, Sheila Serra-Pla, Valenti Puig-Divi, Salvador Navarro-Soto	2020	Cirugía endoscópica y laparoscópica combinada para el tratamiento de pólipos de colon benignos complejos (CELS): estudio observacional	Describir las distintas técnicas de cirugía endoscópica y laparoscópica combinada y evaluar su seguridad.	Estudio observacional, retrospectivo. Se incluyeron 17 participantes.	Cirugía endoscópica y laparoscópica combinada para el tratamiento de pólipos de colon benignos complejos se puede considerar como una alternativa a la resección de colon para pólipos benignos complejos
Peng-yue Zhao, Zhao-fu Ma, Yanan Jiao, Yang Yan, Song-yan Li, Xiao-hui Du	2022	Laparoscopic and endoscopic cooperative surgery for early gastric cancer: Perspective for actual practice	Revisar las ventajas de la cirugía cooperativa laparoscópica y endoscópica en el cáncer gástrico temprano	Revisión de la literatura actualizada	Con un conocimiento profundo de la tecnología mínimamente invasiva, la cirugía cooperativa laparoscópica y endoscópica sigue siendo una opción prometedora en el tratamiento del cáncer gástrico temprano
Mohim Thakur , Ajay K Dhiman	2023	Laparoscopic vs Endoscopic Management of Pancreatic Pseudocysts: A Scoping Review	Realizar una revisión del alcance del estado actual de la evidencia y también identificar lagunas de conocimiento en la literatura publicada que compara el drenaje laparoscópico y endoscópico de los pseudoquistes pancreáticos	Revisión de la literatura actualizada	La endoscopia ha evolucionado como una modalidad mínimamente invasiva para el tratamiento de los pseudoquistes pancreáticos, que proporciona resultados comparables con la ventaja adicional de una estancia hospitalaria más corta y una menor pérdida de sangre en comparación con la laparoscopia.

Timothy Becker, Genaro	2023	A comparison of outcomes	Comparar los resultados de la	Estudio observacional	La apendicectomía robótica y laparoscópica tenían una
DeLeon, Varun Rao, Kevin Y. Pei		between laparoscopic and robotic appendectomy among ACS- NSQIP hospital	apendicectomía robótica versus la apendicectomía laparoscópica.	retrospectivo de las bases de datos de procedimientos específicos del Programa Nacional de Mejora de la Calidad Quirúrgica del Colegio Americano de Cirujanos entre 2016 a 2019.	frecuencia y un perfil de complicaciones similares. Los procedimientos robóticos tardaron más, pero dieron lugar a estancias postoperatorias más cortas.

### Anexo 3. Cansancio percibido por el cirujano principal según la vía de abordaje y el año de realización. Datos expresados en medias y barras de error típico.



### Anexo 4.. Aspectos éticos y sociales de la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías mediadas por la IA en Medicina y Salud ordenados en tres grupos (G1, G2 y G3)

- En el primer grupo (G1), se incluyen características comúnmente analizadas en otras aplicaciones de la inteligencia artificial, como redes sociales, comercio electrónico, automatización en fábricas y vehículos autónomos. Estas características están relacionadas con el uso e intercambio de información, su privacidad, seguridad y anonimización.
- El segundo grupo (G2) aborda temas de especial relevancia en el ámbito de la Medicina y la Salud, aunque algunos también son analizados en otras áreas. Entre estos temas se encuentran el adecuado entrenamiento de los sistemas de IA para prevenir sesgos y asegurar justicia e igualdad; las dificultades para explicar el "razonamiento" de sistemas complejos; la falta de protocolos de evaluación actualizados y de estándares regulatorios; los aspectos legales vinculados a responsabilidades y fallos en el funcionamiento; la vulnerabilidad de la



información médica ante ataques, y el debate sobre si los sistemas de IA deben mantenerse bajo control humano.

- Finalmente, el tercer grupo (G3) presenta problemáticas menos discutidas en las aplicaciones de la IA en Medicina y Salud. Estas cuestiones surgen del potencial doble uso de ciertas tecnologías, como la investigación que desafía los límites del control sobre las personas, los "robots biológicos", híbridos humano-animal, biohacking, así como el desarrollo de armas y bioterrorismo. Estos temas se abordarán con ejemplos de la neurociencia y la edición genética en una sección posterior.

(G1) Actualmente bajo análisis, según se plantea en otras áreas de aplicación de la IA.	
Aspectos.	Cuestiones.
Privacidad, integridad de los datos.	Propiedad. Autorización para la recopilación, intercambio, minería, intercambio de datos.
Anonimato.	Ansiedad por la vigilancia.
Responsabilidad. Responsabilidad legal.	¿Quién es responsable en caso de mal funcionamiento?
Efectos en profesionales y empleo.	Pérdida de trabajos, nuevos trabajos. Cambios profundos en algunas especialidades médicas (algunas incluso pueden desaparecer). Necesidad de actualización profesional. Control de calidad, seguimiento.
Seguridad. Fiabilidad.	Vulnerabilidades. Robo de datos. Manipulación de los datos utilizados para entrenar los sistemas.
Prestaciones.	Resultados de salud y circuitos clínicos mejorados. Reducción de errores médicos. 'Medicina personalizada'. Resultados psicosociales.
¿Humano "en-el-círculo" (de decisión)?	¿Debería un operador humano poder tomar el control de los sistemas de IA? ¿Incluso si el ser humano es más "propenso a errores"? ¿Qué pasa si no hay tiempo para actuar?
Aspectos.	Controversias.
Explicable ["explicabilidad"].	Actualmente requerido por la legislación. Algunos sistemas son (serán) demasiado complejos para ser entendidos por un humano. Pero pueden dar mejores resultados que un humano.
Confianza.	¿La "máquina" funciona mejor que un médico humano? ¿Qué hacer si ellos (sistema de IA, médico humano) dan opiniones contradictorias? "Estafadores de salud digital".
Calidad de datos. Sesgo / equidad.	¿Los sistemas de IA tienen sesgos / son justos con diferentes grupos (por ejemplo, étnicos, de género, de edad)? ¿Reciben datos adecuados y equilibrados para su aprendizaje? ¿Son válidos los resultados?
Empatía.	¿Decisiones compartidas? ¿(Un sistema de IA puede) ayudar (al humano) a tomar decisiones difíciles?
Opinión y participación ciudadana.	Bien común en la investigación financiada con fondos públicos, consentimiento informado, ciencia ciudadana. Reducción de la "asimetría" médico-paciente. Modelo "centrado en el paciente".
Prueba, comparativa.	¿Cómo evaluar los resultados? ¿Los procedimientos existentes para grupos promedio son válidos para tratamientos individualizados? ¿Comparación de sistemas de IA "contra humanos o máquinas"?
Regulación.	Retrasada respecto a la tecnología. Sin consenso internacional.
Asequibilidad. Impacto económico.	¿Tratamientos óptimos a precios "imposibles"? ¿Un factor de desigualdad? ¿Nuevos modelos de seguros y coberturas de salud?
Información para el público y profesionales.	Presión por nuevos productos. Avances reales frente a exageraciones e historias de éxito no confirmadas en áreas de gran interés (por ejemplo, curas para el cáncer). Riesgo de Medicina "basada en falsificaciones".
Decisiones de vida o muerte.	¿Deberíamos permitir que "una máquina" las tome (sobre nosotros, sobre un familiar)? El debate sobre los sistemas de armas autónomas letales.
Aspectos.	Temas importantes / conflictivos.
Humanización del cuidado.	Profesionales con IA: Más tiempo con el paciente, reducción de estrés. Sistemas de IA: [actualmente] carecen de examen físico / contacto con el paciente.
Ingeniería social, [selección de] perfiles basados en datos médicos, sanitarios y sociales fusionados.	Detección preventiva de eventos (por ejemplo, suicidio) frente a selección personalizada para marketing, seguros, atención médica y empleo. Cribado genético de la población.
Disponibilidad de múltiples datos (no supervisados, poco fiables), pruebas genéticas para cualquier persona.	Riesgo de Medicina "generada por el paciente".
¿Límites temporales al uso de datos? ¿herencia?	¿Uso post-mortem de información individual (por ejemplo, genética)?
Colaboraciones abiertas [crowd-sourcing] en algoritmos, potencia de procesamiento.	Intercambio libre de habilidades, conocimientos, experiencia. Solidaridad frente a riesgos de uso malicioso.
Lectura, decodificación de señales cerebrales.	Esperanza para personas con discapacidad severa frente a privacidad de aspectos básicos.
Interacción con procesos neuronales.	Ayuda para [personas con] enfermedades neurológicas y mentales frente al libre albedrío.
Edición genética como autoexperimentación.	Riesgo de resultados inesperados. Cambio de la herencia genética.
Edición genética de embriones humanos y embriones humano-animal.	Riesgo de resultados inesperados en recién nacidos. Creación de nuevos seres ("quimeras").
Los dos lados de la tecnología.	"Fácil" [conversión en] armamento. Alto riesgo de bioterrorismo.
Emulación / "trasplante" de cerebro.	Búsqueda de la inmortalidad. Definición de vida.
'Máquinas vivas' ('robots biológicos', 'biobots'). La búsqueda de formas de vida artificiales.	Definiciones de vida (natural, artificial) y muerte.
Beneficios frente a dificultades y riesgos.	¿Límites (o no) a la investigación y el desarrollo?

(G2) De particular relevancia para las aplicaciones de la IA en Medicina y Salud.

(G3) Apenas/ no incluidos en el análisis de aplicaciones de la IA en Medicina y Salud.