

Cirugía robótica

Mucio Moreno-Portillo^{1*}, Carlos Valenzuela-Salazar¹, César David Quiroz-Guadarrama¹, Carlos Pachecho-Gahbler² y Martín Rojano-Rodríguez¹

¹División de Cirugía General y Endoscópica; ²División de Urología, Hospital General Dr. Manuel Gea González, México, D.F.

Resumen

La medicina ha experimentado un mayor avance científico y tecnológico en los últimos 50 años que en el resto de la historia de la humanidad.

Este artículo describe acontecimientos relevantes, revisa conceptos y ventajas, así como aplicaciones clínicas, resume resultados clínicos publicados y presenta algunas reflexiones personales sin pretender llegar a conclusiones dogmáticas sobre cirugía robótica.

La Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES) define la cirugía robótica como un procedimiento quirúrgico realizado con tecnología que facilita la interacción entre el cirujano y el paciente. El objetivo del robot quirúrgico es corregir las deficiencias humanas y potenciar sus habilidades. La capacidad de repetir tareas con precisión y reproducibilidad ha sido la base de su éxito.

La tecnología robótica ofrece ventajas objetivas y medibles:

- *Mejora la maniobrabilidad y capacidad física transoperatoria.*
- *Corrige vicios posturales y el temblor operatorio.*
- *Permite la percepción de profundidad (imagen en tres dimensiones).*
- *Magnifica los límites de fuerza y movimiento.*
- *Ofrece una plataforma para sensores, cámaras o instrumentos.*

La cirugía endoscópica transformó conceptualmente la forma de hacer cirugía; sin embargo, en la última década la cirugía asistida por robot se ha convertido en el siguiente paradigma de nuestra era.

PALABRAS CLAVE: Cirugía robótica. Medicina y tecnología.

Abstract

Medicine has experienced greater scientific and technological advances in the last 50 years than in the rest of human history. The article describes relevant events, revises concepts and advantages and clinical applications, summarizes published clinical results, and presents some personal reflections without giving dogmatic conclusions about robotic surgery.

The Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES) defines robotic surgery as a surgical procedure using technology to aid the interaction between surgeon and patient. The objective of the surgical robot is to correct human deficiencies and improve surgical skills. The capacity of repeating tasks with precision and reproducibility has been the base of the robot's success.

Robotic technology offers objective and measurable advantages:

- *Improving maneuverability and physical capacity during surgery.*
- *Correcting bad postural habits and tremor.*
- *Allowing depth perception (3D images).*
- *Magnifying strength and movement limits.*
- *Offering a platform for sensors, cameras, and instruments.*

Correspondencia:

*Mucio Moreno Portillo
Hospital General Dr. Manuel Gea González
Secretaría de Salud
Calzada de Tlalpan 4800, Col. Sección XVI
C.P. 14080, México, D.F.
E-mail: geadirecciongeneral@salud.gob.mx

Fecha de recepción: 12-12-2013

Fecha de aceptación: 15-01-2014

Endoscopic surgery transformed conceptually the way of practicing surgery. Nevertheless in the last decade, robotic assisted surgery has become the next paradigm of our era. (Gac Med Mex. 2014;150 Suppl 3:293-7)

Corresponding author: Mucio Moreno Portillo, geadirecciongeneral@salud.gob.mx

KEY WORDS: *Robotic surgery. Medicine. Technology.*

La medicina ha experimentado una incesante y acelerada evolución como consecuencia del avance científico y tecnológico, mayor en los últimos 50 años que en el resto de la historia de la humanidad. La cirugía también consiguió grandes progresos en las técnicas quirúrgicas durante el siglo pasado; sin embargo, de todas las atractivas propuestas habidas, sólo unas cuantas se consolidaron.

En las últimas décadas, de la mano del avance en la industria y las comunicaciones, auténticos profesionales en ventas, cobijados por estrategias estructuradas de mercadotecnia, abruman los espacios de la salud con información seductora. Para el médico y las instituciones es difícil saber cuál de las «novedades» representa un espejismo fugaz o es un auténtico descubrimiento.

En este escenario aparece la tecnología robótica. Es necesario hacer un ejercicio de reflexión con visión crítica, analizando objetivamente la información disponible publicada hasta el momento. Con este objetivo, el presente artículo describe acontecimientos relevantes, revisa conceptos y ventajas, resume resultados clínicos publicados y presenta algunas reflexiones personales sin pretender llegar a conclusiones dogmáticas.

Cirugía endoscópica

El advenimiento de la laparoscopia (cirugía endoscópica) a finales del siglo pasado permitió el concepto de «mínima invasión». Numerosos procedimientos se adaptaron a técnicas endoscópicas en beneficio de los pacientes (menor dolor postoperatorio, estancias más breves, evolución postoperatoria más confortable y mejores resultados estéticos)¹.

Verdaderamente la cirugía endoscópica revolucionó el mundo de la cirugía moderna, logrando realizar procedimientos a través de la observación indirecta del campo quirúrgico. Hoy en día, muchas operaciones en todas las especialidades se realizan rutinariamente por cirugía endoscópica².

En la cirugía laparoscópica el cirujano mantiene el control, manipulando directamente el tejido frente al

paciente, a través de un punto de apoyo en la pared abdominal.

Cirugía robótica

En el sistema robótico, el cirujano se incorpora a un ambiente virtual, lejos del paciente (fuera del campo estéril), con un control sobre la operación indirecto y distante. El concepto rompe paradigmas y preceptos, desafiando a la comunidad quirúrgica.

La SAGES define la cirugía robótica como un procedimiento quirúrgico realizado con tecnología que facilita la interacción entre el cirujano y el paciente³. El objetivo del robot quirúrgico es corregir las deficiencias humanas y potenciar sus habilidades. La capacidad de repetir tareas con precisión y reproducibilidad ha sido la base de su éxito⁴.

Hasta el 30% de los cirujanos laparoscópicos refiere dolor o fatiga de cuello, espalda y hombros⁵. La cirugía endoscópica condiciona posiciones que aumentan el estrés físico y pueden repercutir en el desempeño, imponiendo límites a los grados de libertad de la mano del cirujano⁶. La conformación espacial impuesta por un puerto de entrada fijo y la falta de maniobrabilidad del instrumental degradan la destreza en general. El sistema robótico ofrece una postura más ergonómica, con el cirujano cómodamente sentado con los brazos apoyados, controlando directamente el movimiento de la punta del instrumento de la misma manera como se hace en cirugía abierta, evitando el dolor neuromuscular en hombro y espalda⁷⁻¹¹.

El robot depende de una adecuada interacción entre sus componentes de *hardware* y *software* para un buen desempeño. El primero consta de tres subsistemas: la consola del cirujano, el operador robótico (tres o cuatro brazos) y el carro de vídeo (incluye el centro de control de la cámara, la fuente de luz y el sincronizador). El *software* provee un enlace al «mundo de la información» de imágenes médicas, sensores, bases de datos, etc. Esto hace posible planear y ejecutar intervenciones quirúrgicas de manera precisa y predecible, utilizando información prequirúrgica o transoperatoria¹².

Tabla 1. Aplicaciones clínicas de la cirugía robótica

Especialidad	Procedimientos reportados en la literatura realizados mediante tecnología robótica
Cirugía general	Funduplicatura, miotomía de Heller, <i>bypass</i> gástrico, gastrectomía, esofagectomía, colectomía, resección anterior baja, esplenectomía, adrenalectomía, colecistectomía, reconstrucción de vías biliares, pancreatectomía
Urología	Prostatectomía radical, disección ganglionar pélvica, cistectomía, pieloplastia, nefrectomía, reimplantación ureteral
Ginecología	Histerectomía, salpingooforectomía, reanastomosis de tubas uterinas, miomectomía, endometriosis
Cirugía cardiotorácica	<i>Bypass</i> coronario, reparación de válvula mitral, reparación de comunicación interatrial e interventricular, pericardiectomía, lobectomía, resección de tumores
Cirugía pediátrica	Pieloplastia, funduplicatura, cierre de conducto arterioso, Kasai, resección de quiste de colédoco
Cabeza y cuello	Cirugía transoral faríngea y laríngea, resección de supraglotis, amígdalas y lengua, tiroidectomía axilar
Neurocirugía	Cirugía encefálica, resección de schwannomas, cirugía de columna, microcirugía
Cirugía plástica y reconstructiva	Anastomosis microvasculares en colgajos libres, reconstrucción mamaria, cirugía de mano

El sistema cuenta con un monitor para cada ojo que integra las imágenes tomadas por cámaras independientes. La estrategia se traduce en una visión estereoscópica para el cirujano (el conocido «efecto inmersión»), mejorando su percepción de profundidad. También es posible analizar en la misma consola y simultáneamente imágenes tridimensionales de estudios de gabinete, lo cual facilita la identificación de estructuras anatómicas en tiempo real¹³.

En resumen, la tecnología robótica ofrece ventajas objetivas y medibles:

- Mejora la maniobrabilidad y capacidad física transoperatoria.
- Corrige vicios posturales y el temblor operatorio.
- Permite la percepción de profundidad (imagen en tres dimensiones).
- Magnifica los límites de fuerza y movimiento.
- Ofrece una plataforma para sensores, cámaras o instrumentos¹⁴.

Aplicaciones clínicas

Hace más de 30 años, EE.UU., a través de la *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), desarrolló un programa de cirugía a distancia para el campo de batalla, con la idea de reemplazar a los cirujanos por robots y minimizar las bajas humanas. A partir de ese momento, empezó una feroz carrera por el control del mercado¹⁵.

En 1992 se presentó en Inglaterra RoboDoc (Integrated Surgical Systems, UK), el primer asistente mecánico para cirugía de cadera y rodilla. Después se desarrollaron modelos como el *Automated Endoscopic System for Optical Positioning* (AESOP)¹⁶. Sin embargo, el gran potencial de esta tecnología se evidenció el 7 de septiembre de 2001, cuando se llevó a cabo la primera cirugía robótica transcontinental (*Equant Building* de Nueva York/Hospital Universitario de Estrasburgo)¹⁷.

El contraste entre las grandes ventajas de la tecnología robótica y su limitado avance en expansión y adopción se explica principalmente por el alto costo del sistema y algunas limitaciones prácticas en la esfera técnica y logística¹⁸. A pesar de ello, en los últimos 12 años, diversos grupos quirúrgicos de todo el mundo han incorporado la tecnología robótica a su práctica diaria (Tabla 1)^{2,3}. Entre las series clínicas principales, destacan algunos procedimientos quirúrgicos que reportan ventajas técnicas (Tabla 2).

Hoy día existen cerca de 2,000 sistemas robóticos instalados en el mundo que realizan aproximadamente 350,000 cirugías al año¹⁹. En México, el Sistema Público Federal cuenta con un programa de cirugía robótica en el Hospital Gea, en el sur del Distrito Federal.

Análisis

La cirugía endoscópica transformó conceptualmente la forma de hacer cirugía; sin embargo, en la última

Tabla 2. Principales series clínicas de procedimientos robóticos*

Procedimiento	Autor	N.º de pacientes	Tipo de estudio	Conclusiones (a favor del robot)
Funduplicatura	Müller-Stich ²²	40	Prospectivo aleatorizado	Menor TO
Miotomía de Heller	Horgan ²³	121	Prospectivo	Menor índice de perforación
Esofagectomía	Dunn ²⁴	40	Serie de casos	Menor ST, TO y EI
Bypass gástrico	Wilson ²⁵	1,100	Serie de casos	Menor TO, fístula, sangrado línea de grapas, TEP y conversiones.
Hepatectomía	Giulianotti ²⁶	70	Serie de casos	Menor ST y mortalidad
Pancreatectomía	Giulianotti ²⁷	134	Serie de casos	Menor morbilidad y mortalidad
Resección anterior baja	Kwak ²⁸	118	Casos y controles	Seguro y factible
Prostatectomía radical	Tewari ²⁹	119,692	Metaanálisis	Menor índice de márgenes quirúrgicos positivos y complicaciones posoperatorias
Histerectomía	Martínez-Maestre ³⁰	105	Prospectivo aleatorizado	Menor TO y ST
Reparación de válvula mitral	Suri ³¹	301	Prospectivo	Menor EI, tiempo de ventilación mecánica y estancia en UCI
Pieloplastia pediátrica	Riachy ³²	64	Cohorte	Menor TO
Cirugía transoral oncológica	Richmon ³³	9,601	Retrospectivo de corte transversal	Menor EI y costo total

Se compara el TO, el ST, la EI y los costos de la cirugía robótica y la laparoscópica o abierta. En las conclusiones se enuncian solamente las diferencias estadísticamente significativas en estudios comparativos. Se mencionan las ventajas del robot en las series de casos en comparación con los estudios de cirugía laparoscópica publicados. En general, los costos de la cirugía robótica son mayores.
TO: tiempo operatorio; ST: sangrado transoperatorio; EI: estancia intrahospitalaria; TEP: tromboembolia pulmonar; UCI: Unidad de Cuidados Intensivos.

década la cirugía asistida por robot se ha convertido en el siguiente paradigma de nuestra era²⁰. Si continúa el avance tecnológico con la misma intensidad, posiblemente la cirugía laparoscópica se convierta en una tecnología en proceso de transición hacia la cirugía robótica.

La tecnología robótica tiene implicaciones importantes en el campo de la enseñanza y el entrenamiento quirúrgico. Permite ejecutar procedimientos en realidad virtual o ambientes simulados sin riesgo o daño para los pacientes. También realiza mediciones cuantitativas sobre la curva de aprendizaje, estableciendo parámetros objetivos para evaluar específicamente habilidades y destrezas².

Especialidades quirúrgicas como cirugía general, urología, ginecología, neurocirugía y cirugía cardiovascular, entre otras, han incursionado en esta tecnología²¹. En el mundo numerosos esfuerzos se orientan a

perfeccionar la eficiencia de la cirugía robótica, y seguramente seremos testigos de avances vertiginosos. Su velocidad de expansión dependerá de la accesibilidad económica, cuando se logre el punto de equilibrio entre el costo y el beneficio. A mediano y largo plazo la tecnología robótica será una herramienta muy útil para el desempeño del cirujano de prácticamente cualquier especialidad.

El potencial de que el cirujano más calificado lleve a cabo un acto quirúrgico en cualquier parte del mundo y bajo cualquier circunstancia no puede ser ignorado. Este concepto desafía lo establecido y propone un nuevo reto a la comunidad quirúrgica. Será necesario anticipar el porvenir, capacitando equipos de profesionales bien consolidados, guiados por sólidos criterios científicos y éticos, en espera de que esta tecnología sea accesible. Con esta visión, el Sistema de Salud Federal ha iniciado, en el Hospital Gea, un

programa de entrenamiento formal para aquellos equipos quirúrgicos interesados.

Agradecimientos

A Myrna Irene Limón Fuentes.

Financiamiento

No se ha recibido patrocinio de ningún tipo para llevar a cabo este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Wilson EB. The evolution of robotic general surgery. *Scand J Surg*. 2009;98(2):125-9.
- Najarian S, Fallahnezhad M, Afshari E. Advances in medical robotic systems with specific applications in surgery--a review. *J Med Eng Technol*. 2011;35 (1):19-33.
- Herron DM, Marohn M, SAGES-MIRA Robotic Surgery Consensus Group. A consensus document on robotic surgery. *Surg Endosc*. 2008;22:313-25.
- Kavoussi LR, Moore RG, Partin AW, et al. Telerobotic assisted laparoscopic surgery: initial laboratory and clinical experience. *Urology*. 1994;44:15-9.
- Gofrit O, Mikahail A, Zorn K, et al. Surgeons' perceptions and injuries during and after urologic laparoscopic surgery. *Urology*. 2008;71:404-7.
- Berguer R, Rab G, Abu-Ghaida H, et al. A comparison of surgeons' posture during laparoscopic and open surgical procedures. *Surg Endosc*. 1997;11: 139-42.
- Berguer R, Smith W. An ergonomic comparison of robotic and laparoscopic technique: the influence of surgeon experience and task complexity. *J Surg Res*. 2006;134:87-92.
- Johnston WR, Hollenbeck B, Wolf JJ. Comparison of neuromuscular injuries to the surgeon during hand-assisted and standard laparoscopic urologic surgery. *J Endourol*. 2005;19:377-81.
- Lee E, Rafiq A, Merrell R, et al. Ergonomics and human factors in endoscopic surgery: a comparison of manual vs telerobotic simulation systems. *Surg Endosc*. 2005;19:1064-70.
- Stefanidis D, Wang F, Korndorfer JJ, et al. Robotic assistance- improves intracorporeal suturing performance and safety in the operating room while decreasing operator workload. *Surg Endosc*. 2010;24:377-82.
- Faraz A, Payandeh S. Engineering approaches to mechanical and robotic design for minimally invasive surgery (MIS): Kluwer international series in engineering and computer science. Boston: Kluwer Academic; 2000. p. 183.
- Stoianovici D, Webster R, Kavoussi L. Robotic tools for minimally invasive urologic surgery. En: Ramakumar S, Jarrett TW, Ramakumar R, eds. *Complications of Urologic Laparoscopic Surgery: Recognition, Management and Prevention*. Norway: Informa Healthcare Location of Publish; 2002. p. 1-17.
- Volonté F, Buchs NC, Pugin F. Augmented reality to the rescue of the minimally invasive surgeon. The usefulness of the interposition of stereoscopic images in the Da Vinci robotic console. *Int J Med Robotics Comput Assist Surg*. 2013;9:e34-8.
- Taylor R, Stulberg D. Excerpts from the final report for the Second International Workshop on Robotics and Computer Assisted Medical Interventions. *Comput Aided Surg*. 1997;2:78-85.
- Sackier Jm, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. *Surg Endosc*. 1994;8:63-6.
- Sánchez FM, Millan RF, Bayarri JS, et al. Historia de la robótica: de Arquitas de Tarento al robot Da Vinci. Parte I. *Actas Urol Esp*. 2007; 31(2):69-76.
- Marescaux J, Leroy J, Rubino F, et al. Transcontinental Robot Assisted Remote Telesurgery: Feasibility and Potential Applications. *Ann Surg*. 2002;235(4):487-92.
- Ballantyne GH. The pitfalls of laparoscopic surgery: challenges for robotic and telerobotic surgery. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 2002;12:1-5.
- Nikiteas N, Roukos D, Kouraklis G. Robotic versus laparoscopic surgery perspectives for tailoring and optimal surgical option. *Expert Rev Med Devices*. 2011;8(3):295-8.
- Satava RM. Emerging technologies for surgery in the 21st century. *Arch Surg*. 1999;134:1197-2002.
- Galvani C, Horgan S. Robots en cirugía general: presente y futuro. *Cir Esp*. 2005;78:138-47.
- Müller-Stitch BP, Reiter MA, Wente MN, et al. Robot-assisted versus conventional laparoscopic fundoplication: short-term outcome of a pilot randomised controlled trial. *Surg Endosc*. 2007;21:1800-5.
- Horgan S, Galvani C, Gorodner MV, et al. Robotic-assisted Heller myotomy versus laparoscopic Heller myotomy for the treatment of achalasia: multicenter study. *J Gastrointest Surg*. 2005;9:1020-30.
- Dunn DH, Johnson EM, Morphew JA, Dilworth HP, Krueger JL, Bannerji N. Robot-assisted transhiatal esophagectomy: a 3-year single-center experience. *Dis Esophagus*. 2013;26(2):159-66.
- Tieu K, Allison N, Snyder B, Wilson T, Toder M, Wilson EB. Robotic-assisted Roux-en-Y gastric bypass: updated from 2 high-volume centers. *Surg Obes Relat Dis*. 2013;9(2):284-8.
- Giulianotti PC, Coratti A, Sbrana F, et al. Robotic liver surgery: results for 70 resections. *Surgery*. 2011;149:29-39.
- Giulianotti PC, Sbrana F, Bianco FM, et al. Robot-assisted laparoscopic pancreatic surgery: single-surgeon experience. *Surg Endosc*. 2010;24:1646-57.
- Kwak JM, Kim SH, Kim J, Son DN, Baek SJ, Cho JS. Robotic vs laparoscopic resection of rectal cancer: short-term outcomes of a case-control study. *Dis Colon Rectum*. 2011;54(2):151-6.
- Tewari A, Sooriakumaran P, Bloch DA, Seshadri-Kreaden U, Hebert AE, Wiklund P. Positive surgical margin and perioperative complication rates of primary surgical treatments for prostate cancer: a systematic review and meta-analysis comparing retropubic, laparoscopic, and robotic prostatectomy. *Eur Urol*. 2012;62(1):1-15.
- Martínez-Maestre MA, Gambadauro P, González-Cejudo C, et al. Total Laparoscopic Hysterectomy With and Without Robotic Assistance: A Prospective Controlled Study. *Surg Innov*. 2013. [Epub ahead of print].
- Suri RM, Burkhart HM, Daly RC, et al. Robotic mitral valve repair for all prolapse subsets using techniques identical to open valvuloplasty: Establishing the benchmark against which percutaneous interventions should be judged. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;142(5):970-9.
- Riachy E, Cost NG, Defoor WR, et al. Pediatric standard and robot-assisted laparoscopic pyeloplasty: a comparative single institution study. *J Urol*. 2013;189(1):283-7.
- Richmon JD, Quon H, Gourin CG. The effect of transoral robotic surgery on short-term outcomes and cost of care after oropharyngeal cancer surgery. *Laryngoscope*. 2013. [Epub ahead of print].