

# CIRUGÍA ROBÓTICA TORÁCICA

---

Francina Valezka Bolaños Morales, Jesús Carranza Sarmina, Luis Iván Waldo Hernández, Francisco Javier Armas Zárate, Guillermo Edmundo Castrillo Hernández, Guillermo Oscar Garza Jiménez, Julio Herrera Zamora, Patricio Javier Santillán Doherty

*Esperaré a que vuelvas  
y por favor, recuerda  
que soy como un muñeco  
que necesita cuerda.*

*Pedro Infante*

## RESUMEN

La cirugía robótica ha revolucionado la forma de realizar cirugías en las diferentes especialidades, contrario al uso de la cirugía videoasistida, en la que existía mucha resistencia por parte de los cirujanos en los años noventa. El desarrollo de la cirugía robótica ha sido increíblemente rápido y ha demostrado poseer numerosas ventajas que ayudan a mejorar las habilidades quirúrgicas de los cirujanos, aún en aquellos que nunca han tenido un contacto con sistemas videoasistidos.

## HISTORIA DE LA ROBÓTICA

En 1921, Karel Capek introdujo el término “robot” en su obra *Robots universales rossum*. Dicho término proviene de la palabra checa *robota*, que significa trabajo. Años más tarde, en 1942, Isaac Asimov se inspiró en la obra de Capek para definir el término “robótica”, estableciendo las tres leyes de la robótica en sus libros *Círculo vicioso* y *Yo, robot*. A pesar de ser un término relativamente nuevo, las máquinas autónomas datan del año 400 a.C., ejemplo

de esto es el primer artefacto de vuelo autopropulsado construido por Arquitas de Tarento, un pájaro de madera que funcionaba con vapor y era capaz de recorrer 200 metros.<sup>1</sup> Sin embargo, el primer robot capaz de imitar los movimientos humanos de la mandíbula, los brazos y el cuello fue diseñado por Leonardo Da Vinci en 1495, el cual sería conocido como el “Caballero mecánico”. Este invento inspiró a su vez a Gianello Turriano para construir, en 1540, una muñeca que tocaba la mandolina.

El desarrollo y utilización de técnicas de mínima invasión torácica representa uno de los avances tecnológicos más importantes en el campo de la cirugía en los últimos 20 años. El abordaje por mínima invasión permitió realizar cirugías con incisiones mínimas, en lugar de grandes incisiones traumáticas sobre la cavidad abdominal o torácica. Los beneficios de esta técnica se caracterizan por una disminución en los días de hospitalización, menor dolor postoperatorio y un rápido retorno a las actividades diarias.<sup>2</sup>

Desde hace tiempo, la tecnología ocupa un papel central en la medicina. Entre los diversos ejemplos existentes, podría mencionarse desde la utilización de un simple manómetro para registrar la presión arterial o la presión de la arteria pulmonar, hasta el desarrollo de sofisticados monitores que controlan las funciones respiratorias de los pacientes y envían las mediciones en tiempo real a su médico tratante. De igual manera, la tecnología se encuentra aplicada en forma rutinaria para suplir la función de diversos órganos, como la hemodiálisis, dispositivos de circulación extracorpórea para cirugía cardíaca, ECMO (membrana de oxigenación extracorpórea) para trasplante de pulmón o para los pacientes de COVID-19, entre otros. Estos y muchos otros ejemplos de la medicina actual hubiesen parecido historias de ciencia ficción hace algunos años.<sup>2</sup>

## CIRUGÍA ROBÓTICA

La introducción de la cirugía asistida por computadoras, o cirugía robótica, ha facilitado la cirugía y la realización de procedimientos más complejos, acercando las técnicas mínimamente invasivas a un mayor número de cirujanos.

La cirugía robótica comenzó a desarrollarse a principios de los años noventa en Estados Unidos con el trabajo conjunto de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), Jet Propulsion Laboratory y emprendedores privados que conformaron una empresa llamada RAMS (Robot Assisted Micro Surgery). El objetivo de esta empresa fue desarrollar un robot con la destreza suficiente para realizar procedimientos microquirúrgicos y a distancia, surgiendo así el término “telecirugía”. Por otro lado, también se propusieron mejorar, mediante pinzas robóticas, los movimientos de la mano humana. De esta manera, sería más sencilla la cirugía y permitiría la realización de operaciones complejas en forma mínimamente invasiva.<sup>1,2</sup>

En los últimos 20 años, los robots han sido incorporados en diversas áreas médicas con resultados sorprendentes y un enorme potencial de desarrollo a medida que se utiliza cada vez más este tipo de tecnología. La cirugía robótica ha cambiado la manera de hacer, en-

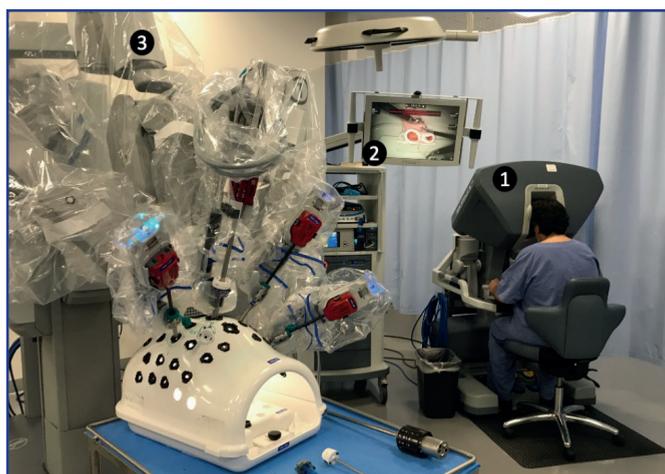
señar y practicar la cirugía torácica,<sup>3</sup> convirtiéndose en una herramienta que potencia las habilidades del cirujano.

La primera colecistectomía laparoscópica con el robot AESOP 1000 fue realizada en 1993 en el San Diego Medical Center de la Universidad de California por el doctor Jonathan Sackier. Desde entonces, cientos de robots han ayudado a cirujanos alrededor del mundo a realizar miles de procedimientos; en 1996 el doctor Adrián Carbajal y colaboradores realizaron 50 cirugías en el hospital Torre Médica, en la Ciudad de México, y el doctor Harry Miller intervino a más de 100 pacientes entre 1999 y 2003.<sup>4</sup> Esto dio pauta para la aprobación de la plataforma Da Vinci® a nivel mundial por parte de la FDA.<sup>5</sup>

En 1994, RAMS creó el primer brazo robótico de 2.5 cm de diámetro y 25 cm de largo, con 6 grados de movimiento en el espacio. Al año siguiente, desarrolló una estación de trabajo con dos brazos robóticos. En paralelo, la empresa Intuitive Surgical Inc. desarrolló el Da Vinci Surgical System, que constituyó el primer robot que logró la aprobación de la Administración Norteamericana de Alimentos y Medicamentos (Food and Drug Administration, FDA).<sup>5</sup>

## SISTEMA QUIRÚRGICO DA VINCI®

El sistema quirúrgico Da Vinci®, desarrollado por Intuitive Surgical Inc., con sede en Sun Valley, California, Estados Unidos, es el sistema de cirugía robótica más completo y desarro-



**Figura 1.** Demostración de los tres componentes del sistema Da Vinci®: 1) consola del cirujano; 2) torre de laparoscopia y 3) carro móvil.  
Fuente: imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.



**Figura 2.** Consola de mando del cirujano. Es el centro de control del sistema desde el cual el cirujano opera. El visor proporciona dos imágenes del campo quirúrgico que, juntas, ofrecen una visión tridimensional. Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

llado que consiste en realizar la cirugía mediante los brazos robóticos que son manejados por un cirujano robótico a varios metros de distancia del paciente<sup>3</sup> y consta de tres componentes: 1) la consola del cirujano, desde donde controla los brazos robóticos con siete rangos de movimiento, cuenta con sistemas de imágenes en 3D y sistemas infrarrojos que se activan cuando la cabeza del cirujano se ubica junto a la consola que, a su vez, activa los mandos y los brazos robóticos, 2) torre de visualización (torre de laparoscopia), que ofrece visión tridimensional, iluminación dual y cámaras dobles de tres chips y 3) el carro móvil (robot), que sostiene los brazos robóticos (**Figura 1**)<sup>6</sup>

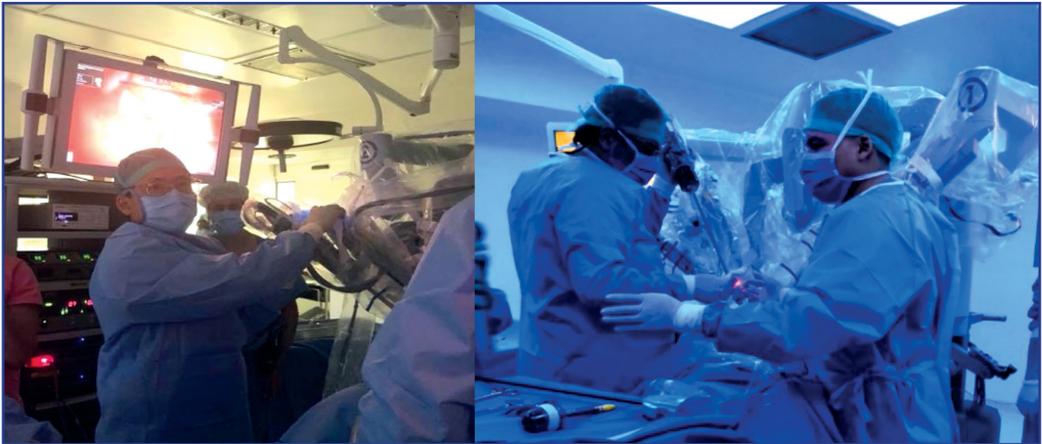
## CONSOLA DE MANDO

Es el sitio desde donde el cirujano, sentado confortablemente y sin necesidad de llevar ropa, cubrebocas y guantes estériles, controla el movimiento de tres brazos robóticos de trabajo y un cuarto que sujeta la endocámara (sistemas Da Vinci® SHD y SI). La consola de mando puede estar ubicada en la misma sala de operaciones o fuera de ella, y está formada por tres elementos básicos: 1) un binocular en donde el cirujano observa la imagen tridimensional (3D), superando la visión bidimensional de la cirugía laparoscópica convencional, 2) dos pares de anillos en los cuales el cirujano coloca los dedos índice y pulgar de cada mano a modo de pinza (los movimientos que el cirujano realiza con los anillos son repetidos con

precisión por los instrumentos quirúrgicos del robot) y 3) un sistema de pedales que permiten manejar los movimientos de la endocámara y activar los elementos de energía, en tanto que un pedal adicional activa el tercer brazo quirúrgico a modo de ayudante (**Figura 2**).<sup>3,7</sup>

## TORRE DE LAPAROSCOPIA

Se necesita un insuflador para realizar el neumoperitoneo o neumotórax según la zona a operar y un monitor par que tanto el ayudante como el instrumentalista y todo el personal de quirófano puedan observar la cirugía (**Figura 3**).



**Figura 3.** Izq. Ensamble de endocámara en carro robótico con torre de laparoscopia al fondo. Der. Equipo quirúrgico con carro robótico ensamblado al paciente y torre de laparoscopia al fondo.

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

## CARRO ROBÓTICO O MÓVIL

En el carro robótico, los tres brazos de trabajo sujetan, mediante puertos de 8 mm, el instrumental que será ocupado para la cirugía, mientras que el cuarto controla los movimientos de la endocámara mediante un puerto de 12 mm. El robot actúa como intermediario entre el cirujano y el paciente, copiando milimétricamente los movimientos que el cirujano realiza desde la consola, con 7 grados de libertad en el espacio (sistema *endowrist*), miniaturizándolos y volviéndolos sumamente precisos, neutralizando el temblor. La consola y el robot se encuentran conectados por un sistema de cables y, si bien pueden funcionar mediante comunicación satelital para cirugías a distancia, la FDA prohíbe su uso a distancia (**figuras 4 y 5**).<sup>3,7</sup>



**Figura 4.** El carro robótico tiene tres brazos de trabajo y un cuarto más para el endoscopio. Es supervisado por el personal en el quirófano.

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

Un vertiginoso desarrollo de robots ha inundado el mercado, desplegando cada vez más tecnología y destacándose algunos por sus particularidades, entre ellos el Si, X, Xi, cuyas diferencias radican en brazos cada vez más delgados, mejor acoplamiento de los brazos con los trocales y mayor rango de movimiento (**Figura 6**).<sup>3,7</sup>

## INDICACIONES

Es importante mencionar que las indicaciones para realizar una cirugía robótica torácica son las mismas que las de la cirugía videotoracoscópica. Las indicaciones para realizar una cirugía robótica torácica pueden ser divididas en dos grandes categorías: procedimientos simples y complejos.<sup>8,9</sup>

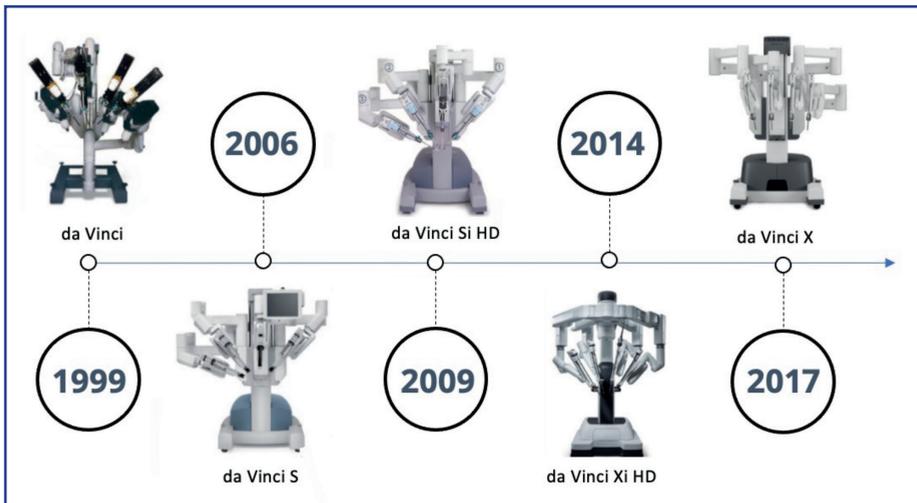
### PROCEDIMIENTOS SIMPLES

Biopsia pulmonar para evaluación de enfermedad infiltrativa difusa pulmonar, resección en cuña de nódulo pulmonar indeterminado y revisión de pacientes con neumotórax.



**Figura 5.** Equipo XI del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas con el primer equipo quirúrgico de cirugía robótica en México al fondo.

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.



**Figura 6.** Evolución del sistema Da Vinci, traduciendo cada avance en mejoras de la precisión, mínima invasión y seguridad.

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

Terapéuticas: pleurodesis, pleurectomía o abrasión pleural en pacientes con derrame pleural o neumotórax recurrentes, drenaje y decorticación de empiema, resección en cuña de tumores pulmonares benignos, resección de bulas causantes de neumotórax, resección de tumores benignos del mediastino y biopsia de tumores mediastinales).<sup>9</sup>

## PROCEDIMIENTOS COMPLEJOS

- Resecciones pulmonares: lobectomía, segmentectomía o neumonectomía; por ejemplo: resección con intención curativa para cáncer pulmonar y resección pulmonar con objeto de reducción de volumen en enfisema pulmonar.
- Procedimientos en estructuras mediastinales o resección de tumores mediastinales: timectomía, resección tumores mediastinales, tumores de esófago, de origen neural, quistes de duplicación (broncogénicos, entéricos o neurogénicos), simpatectomía, esofagectomía.
- Resección de pared torácica: tumores de pared torácica, resección primera costilla.
- Procedimientos de diafragma: plicatura diafragmática, cierre de fenestraciones, tumores diafragmáticos, drenaje trans diafragmático de colecciones abdominales.<sup>9</sup>

## UTILIDAD

La cirugía robótica resuelve diversas limitaciones de la laparoscopia tradicional, entre ellas:<sup>8,9</sup>

- Movimiento paradójico.
- Limitación de ángulos por instrumentos rígidos, al permitir que el movimiento fluido y libre de la muñeca del cirujano se transmita directamente al extremo de los instrumentos.
- Mala postura ergonómica, al brindar al cirujano la posibilidad de estar sentado en una posición confortable sin la necesidad de mantenerse de pie durante largos periodos.
- Disociación entre la dirección de los instrumentos y el monitor, al alinear la visión del cirujano con el movimiento de sus manos.
- Dificultad para realizar microsuturas de alta precisión y la visión bidimensional, al reducir el temblor y generar una visión 3D.

Las principales contraindicaciones son:

- No tener acceso a la plataforma robótica.
- La intolerancia de la ventilación selectiva con un solo pulmón puede limitar la visualización.

- Las adherencias pleuropulmonares son una contraindicación relativa para la cirugía robótica, pues pueden liberarse con ayuda de instrumentos de energía avanzados (bipolar avanzado, disector ultrasónico avanzado), sin causar pérdida de la visibilidad ni sangrado, con una eficiencia del tiempo quirúrgico adecuado.

El principal factor para la realización de procedimientos mínimamente invasivos en el tórax es la experiencia del cirujano de tórax certificado, quien debe estar entrenado en este tipo de herramientas.<sup>8,9</sup>

## TÉCNICA ANESTÉSICA

En general, se recomienda el uso de anestesia general, se realiza con ventilación unilateral mediante la introducción de tubo endotraqueobronquial de doble luz (Bronco-Cath), o bien mediante la utilización de una sonda endotraqueal habitual (Rusch 8.5 con globo de baja presión) y la introducción bajo guía bronoscópica de un catéter de embolectomía (Fogarty F7) alojado en el bronquio principal del pulmón ipsilateral al lado operado (**Figura 7**).<sup>10,11</sup>



**Figura 7.** Verificación bronoscópica de la posición del tubo endobronquial de doble luz para la intubación selectiva.

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

Siempre se utiliza insuflación con CO<sub>2</sub> a 8 mmHg y con un flujo de 20 l/min, con auto stop en modo off, con energía bipolar de 6-8 con excelentes resultados de visualización.<sup>8</sup> El objetivo de ambas opciones es lograr colapso pulmonar y un neumotórax adecuado que permita la visualización completa de la cavidad torácica.<sup>10</sup> La vigilancia transoperatoria incluye el uso de oximetría de pulso en forma continua, así como capnografía al final de la cirugía.<sup>11</sup> En casos seleccionados en los que la función pulmonar del paciente se encuentra afectada y la extensión del procedimiento lo amerita, se realiza vigilancia invasiva mediante cateterización arterial para gasometría transoperatoria (**Figura 8**).<sup>10,11</sup>



**Figura 8.** El uso del tubo endobronquial Bronco-Cath es una opción en la intubación selectiva de pacientes pediátricos. Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

## POSICIÓN DEL PACIENTE

Por lo habitual, los pacientes son colocados en decúbito lateral con el área afectada hacia arriba.<sup>8</sup> La mesa quirúrgica es flexionada con la finalidad de “abrir” más los espacios intercostales y permitir el descenso de la cadera, especialmente en mujeres, para no limitar el movimiento de la cámara. Otra opción es colocar dos rollos de tela debajo de las costillas para lograr una máxima apertura. Cuando el paciente está en la posición deseada, se fija a la mesa con cinta adhesiva o un cinturón adherente.

Posteriormente, el anestesiólogo inicia ventilación unilateral para permitir el colapso progresivo del pulmón. Se recomienda infiltrar con anestesia local las áreas donde van a colocarse los puertos para un mejor control del dolor postquirúrgico (preemptive analgesia) (**Figura 9**).<sup>8,9</sup>

Se inicia el procedimiento mediante una incisión de 5 o 10 mm colocada de acuerdo con la radiografía de tórax convencional o tomografía axial computarizada, por lo general entre el quinto y el séptimo espacio intercostal a nivel de la línea media-axilar.<sup>8</sup> Se profundiza con visión directa hasta abrir la cavidad pleural, identificando el ruido producido por el súbito paso del aire hacia la cavidad pleural, comprobando así el adecuado colapso pulmonar.<sup>9</sup>

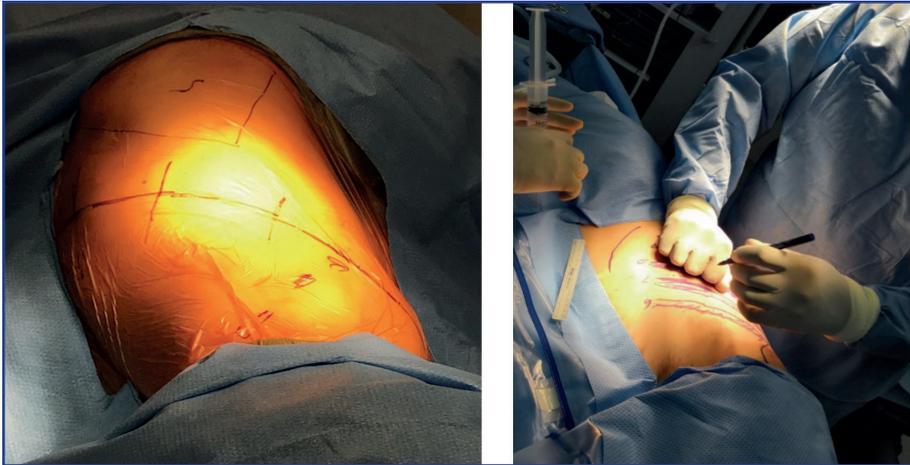
Se introduce un thoracoport de 8 mm, dependiendo del lente utilizado, a través del cual se pasa el telescopio y se realiza una exploración preliminar. Se utilizan telescopios de 5 o 10 mm angulados de 30° y de 0°. La cámara se puede intercambiar a cualquier puerto.<sup>8,9</sup>



**Figura 9.** Posición de decúbito lateral, ya sea derecho o izquierdo, con bloqueo del erector espinal.

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

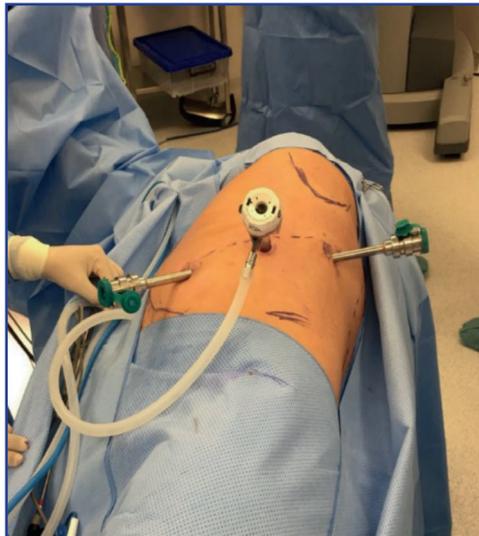
Los trocares se colocan a nivel del séptimo y octavo espacio en forma de abanico, con una separación de 9 o 10 cm entre cada puerto para que los brazos no se estorben y se instala un cuarto puerto accesorio en la porción anterior entre los dos brazos robóticos a 4 cm por debajo de estos. Este puerto es versátil, pues por ahí pueden introducirse las pinzas de toroscopia, las engrapadoras o el dispositivo para el drenaje, sacar la muestra (el estar ubicado entre los cartílagos costales facilita la extracción) o colocar CO<sub>2</sub> y dar oportunidad para hacer espacio y colocar los otros puertos (**figuras 10 y 11**) Dependiendo de la lesión, en algunos casos puede colocarse un catéter epidural para controlar el dolor postquirúrgico.<sup>8,9</sup>



**Figura 10.** Colocación de los puertos en el octavo espacio intercostal, con 9-10 cm entre cada trocar. Son cuatro en total, más el accesorio.

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

---



**Figura 11.** Puertos listos para colocación de los brazos robóticos (docking).

Fuente: Imagen tomada del archivo fotográfico de la Subdirección de Cirugía del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

---

En términos generales, los autores han establecido la política de que, si al cabo de una hora no se ha logrado un avance significativo en el procedimiento, este se convierta en abierto. Es importante seleccionar a los candidatos adecuados para este tipo de cirugías, así como la evaluación preoperatoria de la factibilidad del procedimiento endoscópico que se pretende realizar. Y durante la operación, es indispensable monitorear adecuadamente al paciente con oximetría de pulso y capnografía para detectar de inmediato la desaturación de oxígeno o la retención de CO<sub>2</sub>.<sup>10</sup>

## ENTRENAMIENTO EN CIRUGÍA ROBÓTICA

De acuerdo con Cerfolio y colaboradores, para iniciar un programa de cirugía robótica torácica es importante destacar que el médico que va a ser entrenado deberá estar altamente preparado en su área.<sup>12,13</sup> Además, su capacitación no debe centrarse únicamente en nuevas técnicas quirúrgicas, también deberá obtener un amplio conocimiento de la patología a tratar y mantenerse actualizado para priorizar la intervención más adecuada por encima de cualquier intención de demostrar que se encuentra en la cresta de la ola tecnológica.<sup>3</sup>

Cerfolio ha planteado que la mejor forma de entrenar a los residentes en un ambiente quirúrgico es mediante un programa basado en las experiencias previas y las competencias de los cirujanos maestros. Las claves para el éxito de un programa de cirugía robótica son, como mínimo, un volumen adecuado de casos, al menos 30 resecciones pulmonares anatómicas por año, acceso a un robot al menos una vez a la semana y un equipo dedicado y constante al cuidado postquirúrgico de estos pacientes.<sup>13,14</sup>

Un cirujano robótico competente debe ser capaz de:<sup>14</sup>

1. Estar pendiente de la experiencia de la consola robótica (pedales, botones, controles manuales, embragues, alarmas y demás opciones).
2. Haber cumplido con un mínimo de 19 de 30 simulaciones, con un puntaje de al menos 80% previo a cualquier interacción con tejido humano y un buen uso del cuarto brazo.
3. Estar bajo la observación de un equipo experimentado.
4. De ser posible, tener entrenamiento en cadáver.
5. Tener acceso a video y enseñanzas en línea.
6. Compromiso por parte de la administración de la institución.
7. Progresión sucesiva del nivel I al III (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Clasificación de cirugías torácicas por nivel

Cirugías		
Nivel I	Nivel II	Nivel III
Resección anterior y posterior de tumor o quiste mediastinal (si es < 3cm no invasivo) Resección de quistes esofágicos o pulmonares Resección de nódulos linfáticos Resección pulmonar en cuña no intencionada a un nódulo en específico Simpatectomía Resección de un tumor pleural fibroso solitario (si es < 3 cm) Biopsia pleural	Timectomía por miastenia gravis Resección de tumores del mediastino inferiores y posteriores (debajo de la novena costilla) Plicatura diafragmática Leiomioma esofágico en tercio medio Esofagectomía transtorácica sin anastomosis Resecciones de pared torácica	Segmentectomía Lobectomía Resecciones pulmonares en manguito Miotomía esofágica por acalasia con funduplicatura tipo Dor Esofagectomía tipo Ivor Lewis

Fuente: elaborada con información de Cerfolio et al., 2019.<sup>13</sup>

## MORBIMORTALIDAD Y SEGURIDAD DE LA CIRUGÍA ROBÓTICA

Diversos estudios han demostrado la superioridad de la lobectomía y la segmentectomía asistidas por robot en comparación con la lobectomía videotoracoscópica convencional y la lobectomía abierta. La lobectomía asistida por robot se asoció con reducciones en la tasa global de complicaciones (43.8 frente a 54.1%), estancia hospitalaria (5.9 frente a 6.3 días) y tasa global de mortalidad (0.2 frente a 2%) en comparación con las resecciones abiertas. La tasa global de complicaciones, la estancia hospitalaria y la mortalidad también fueron menores en el grupo robótico, en comparación con la cirugía videotoracoscópica.<sup>15</sup>

Otros autores compararon su experiencia con la base de datos nacional de la sociedad de cirujanos torácicos y descubrieron que la cirugía asistida por robot es equivalente a la cirugía videotoracoscópica en todos los resultados intraoperatorios y postoperatorios, y también dio lugar a tasas de transfusión sanguínea postoperatoria significativamente menores (0.9 frente a 7.8%), fuga aérea durante más de cinco días (5.2 frente a 10.8%) y estancia intrahospitalaria (4.7 frente a 7.3 días) en comparación con la toracotomía abierta.<sup>16</sup>

La mortalidad también parece mejorar con la experiencia del cirujano; Yamashita y colaboradores encontraron que las tasas de mortalidad oscilaron entre 0 y 5% en los primeros

cinco años de experiencia en cirugía robótica en comparación con 0 y 2% cinco años después, con una tasa global de mortalidad de 1.4%.<sup>17</sup>

Algunos estudios más han encontrado que la tasa de morbilidad general perioperatoria de la cirugía robótica fue similar a la de la lobectomía por toracoscopia, sin observarse diferencias significativas en la incidencia de fuga de aire prolongada, arritmia y neumonía postoperatorias al comparar robot con toracoscopia. Estos resultados sugieren que la cirugía por robot es un enfoque quirúrgico seguro y factible para los pacientes con patología torácica y puede alcanzar una eficacia quirúrgica equivalente o incluso superior en el corto plazo, en comparación con la cirugía por toracoscopia.<sup>18</sup>

## LIMITANTES

El sistema de cirugía robótico Da Vinci® también presenta algunos inconvenientes; los principales son la falta de sensación táctil y el tamaño, que limita el espacio en la sala quirúrgica. Por añadidura, el robot requiere un gran número de conexiones delicadas, las cuales se encuentran dentro de la sala de operaciones y pueden dañarse o causar algún accidente. Este inconveniente puede minimizarse al dedicar una sala exclusivamente a dichos procedimientos con protocolos de acomodamiento de la sala quirúrgica y componentes robóticos prediseñados para cada procedimiento. Además, intervenciones como la resección del intestino, en las que se vuelve necesario acceder a uno o más cuadrantes abdominales, obliga al montaje y desmontaje de los brazos robóticos, añadiendo tiempo y anestesia a la cirugía. Sin embargo, y considerando que los avances tecnológicos han sido vertiginosos en esta área y van de la mano de la demanda del mercado, es de esperar que estas dificultades se resuelvan pronto.<sup>6</sup>

Los elevados costos de la cirugía robótica impiden su difusión, sobre todo en países con menos recursos. Es indispensable considerar los gastos que representa el uso de los robots; por ejemplo, cada pinza debe ser desechada después de 10 usos, ya que el robot registra cada vez que un instrumento es conectado al brazo robótico.<sup>3</sup>

## FUTURO

El uso del robot ayuda a mejorar las habilidades del cirujano, transformando los movimientos humanos en movimientos robóticos sumamente estables, precisos y delicados. La incorporación de herramientas de realidad virtual, el poder hacer analogías con los estudios radiográficos o topográficos, y la utilización de otros métodos de tinción para diversos tejidos en tiempo real hacen que la cirugía robótica tenga numerosas ventajas sobre la cirugía toracoscópica y laparoscópica convencional.<sup>7</sup>

Con el advenimiento de la cirugía robótica por puerto único, se incluyen nuevas ventajas como una cicatriz pequeña, un acceso mínimamente invasivo, menor dolor y resultados

comparables con la cirugía abierta. Hasta el momento existe un escaso número y una amplia variedad de procedimientos quirúrgicos y urológicos LESS (laparoendoscopic single site surgery) con asistencia robótica reportados en la literatura. Los resultados cosméticos son excelentes y la cicatriz es indetectable cuando esta se ubica dentro del ombligo. Adicionalmente, el dolor postoperatorio es mínimo, como ha sido demostrado a través de la escala visual análoga, a pesar de que se necesitan mejores estudios controlados con escalas de dolor validadas para este tipo de cirugía.

Es aún pronto para comentar los resultados oncológicos en el desarrollo de esta tecnología, pero los reportes iniciales son prometedores, por lo que se requieren estudios prospectivos y aleatorizados para comparar los resultados postoperatorios entre la cirugía robótica por puerto único y la cirugía laparoscópica tradicional.<sup>19</sup>

Las innovaciones tecnológicas, que avanzan día con día, irán trayendo cambios a los actuales equipos, que seguramente modificarán los procedimientos quirúrgicos, permitiendo quizá en un futuro sistematizar la telecirugía y el desarrollo de teleconsultas con la interacción de varios operadores y llegar así a realizar procedimientos multicéntricos. Esto llevaría a nuevos problemas éticos y legales sobre responsabilidad médica que deberán ser resueltos, sin dejar de lado que las relaciones entre médicos y pacientes también se verían seriamente modificadas.<sup>7</sup>

## EXPERIENCIA DE CIRUGÍA ROBÓTICA EN MÉXICO

Los primeros cirujanos torácicos robóticos que se entrenaron en el país en el año 2017 fueron los doctores José Manuel Mier y Patricio Santillán Doherty, así como la doctora Francina Bolaños Morales. Dicha experiencia se inició en el Hospital Ángeles Pedregal con la plataforma Da Vinci Si, el primer caso fue una lobectomía inferior izquierda por cáncer de pulmón en estadio temprano, la paciente egresó a los dos días de postquirúrgico con excelente evolución, y ha estado libre de enfermedad hasta la fecha. Actualmente se realizan múltiples procedimientos torácicos por cirugía robótica y es la forma más segura para el paciente.<sup>17</sup>

## IMPACTO EN LA ENSEÑANZA

A pesar de los numerosos avances tecnológicos, la formación en cirugía se ha mantenido sin cambios durante más de un siglo. Durante la pandemia, cuando todos los sistemas de salud se enfocaron a manejar y tratar a los pacientes con COVID-19, muchas especialidades quirúrgicas no realizaban procedimientos quirúrgicos electivos, por lo que los modelos de simulación eran la única forma para recibir conocimiento.

Hasta hace dos años y medio, la cirugía dependía totalmente del número de casos operables disponibles en el momento, lo cual prolongaba el tiempo de formación y comprometía la seguridad de los pacientes.

La cirugía robótica se convertirá en un nuevo medio para adquirir las aptitudes necesarias para operar, gracias a la simulación de todas las intervenciones que pueden realizarse con el robot. Los cirujanos pueden usar robots quirúrgicos para practicar operaciones con simuladores tridimensionales de realidad virtual y modelos de las partes blandas que recrean la textura de los tejidos humanos mediante los sistemas de respuesta de fuerza o force feedback (la tecnología del tacto o háptica hace referencia al tacto o sensación táctil). Las simulaciones guiadas por imágenes permitirán a los cirujanos practicar diferentes intervenciones gracias a las reconstrucciones tridimensionales de la parte de la anatomía que será objeto de cirugía al día siguiente.<sup>18</sup>

La cirugía por telepresencia (en la que el cirujano opera de manera virtual mediante telecomunicación, desde una ubicación física alejada del paciente) ha sido utilizada satisfactoriamente para la enseñanza de la cirugía. Se espera que estos sistemas perfeccionen el proceso de aprendizaje, permitiendo a los estudiantes adquirir aptitudes quirúrgicas en periodos más reducidos, a la vez que se mejora la seguridad del paciente al evitar errores en las intervenciones. En última instancia, estas aplicaciones pasarán a formar parte integral de la formación y la acreditación de cirujanos, y proporcionarán los medios objetivos para evaluar las aptitudes quirúrgicas.<sup>13,14</sup>

Se espera que la tecnología robótica desempeñe un papel cada vez más importante en el futuro de la cirugía. La cirugía robótica no sólo ha cambiado la forma de practicar la cirugía, sino que ha renovado la forma de enseñar y de aprender a operar. Ha entrado a formar parte de los programas de cirugía en todo el mundo, utilizándose para la enseñanza y la práctica de la cirugía con modelos virtuales tridimensionales en lugar de pacientes o modelos cadavéricos o animales. Sin embargo, la mayor parte de los programas de residencia en Estados Unidos y México aún no se han centrado en la formación en cirugía robótica como se debería. Actualmente, se busca incorporar dichos programas al sistema de formación de médicos especialistas y subespecialistas en cirugía con la seguridad de que la tecnología y la medicina avanzan de la mano de forma continua.<sup>13,14</sup>

## CONCLUSIONES

La cirugía robótica ha revolucionado la forma de realizar cirugías en las diferentes especialidades y ha cambiado la manera de hacer, enseñar y practicar la cirugía torácica, convirtiéndose en una herramienta que potencia las habilidades del cirujano. Posee numerosas ventajas que ayudan a mejorar las habilidades quirúrgicas de los cirujanos y grandes beneficios, como disminuir los días de hospitalización, menor dolor postoperatorio y un rápido retorno a las actividades diarias.

## FUENTES CONSULTADAS

1. Miller Fogel HS. Cirugía robótica en México. Los sistemas inteligentes, perspectivas actuales y a futuro en el ámbito mundial. *Rev Mex Cir Endoscop.* 2003;4(1):45-50.
2. Castillo OA, Vidal I. Cirugía robótica. *Rev Chil Cir.* 2012; 64(1):88-91.
3. Schwartz G, Sancheti M, Blasberg J. Robotic Thoracic Surgery. *Surg Clin North Am.* 2020;100(2):237-248.
4. Carbajal Ramos A. Cirugía robótica. *Cirujano General.* 2003;25(4):314-320.
5. Ranev D, Teixeira J. History of computer-assisted surgery. *Surg Clin North Am.* 2020;100(2):209-218.
6. Valero R, Ko YH, Chauhan S et al. Cirugía robótica: historia e impacto en la enseñanza. *Actas Urol Esp.* 2011;35(9):540-545.
7. Yamashita SI, Yoshida Y, Iwasaki A. Robotic surgery for thoracic disease. *Ann Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;22(1):1-5.
8. Cerfolio RJ, Louie BE, Farivar AS et al. Consensus statement on definitions and nomenclature for robotic thoracic surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017;154(3):1065-1069.
9. Emmert A, Straube C, Buentzel J, Roever C. Robotic versus thoracoscopic lung resection: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(35):e7633.
10. McCall P, Steven M, Shelley B. Anaesthesia for video-assisted and robotic thoracic surgery. *BJA Educ.* 2019;19(12):405-411.
11. Geraci TC, Sasankan P, Luria B, Cerfolio RJ. Intraoperative anesthetic and surgical concerns for robotic thoracic surgery. *Thorac Surg Clin.* 2020;30(3):293-304.
12. Linsky PL, Wei B. Training in robotic thoracic surgery. *J Vis Surg.* 2018;4:1.
13. Alicuben ET, Wightman SC, Shemanski KA et al. Training residents in robotic thoracic surgery. *J Thorac Dis.* 2021;13(10):6169-6178.
14. Cerfolio RJ, Ferrari-Light D. How to get the most out of your trainees in robotic thoracic surgery—“the coachability languages”. *Ann Cardiothorac Surg.* 2019;8(2):269-273.
15. Zirafa CC, Romano G, Hung Key T et al. The evolution of robotic thoracic surgery. *Ann Cardiothorac Surg.* 2019;8(2):210-217.
16. Yong Park S, Hee Lee J, Stein H et al. Initial experience with and surgical outcomes of da Vinci single-port system in general thoracic surgery. *J Thorac Dis.* 2022;14(6):1933-1940.
17. Noyola Villalobos HF. Estado actual de la cirugía robótica en México. *Rev Mex Cir Endoscop.* 2017;18(1):5-6.
18. Mier JM, Cortés JG, Navarrete M, Gómez-Nieto G. Experiencia inicial de un programa de cirugía torácica asistida por robot para cáncer de pulmón en México. Reporte de dos casos. *Acta Méd Grupo Ángeles.* 2018;16(3):252-254.
19. Wei S, Chen M, Chen N, Liu L. Feasibility, and safety of robot-assisted thoracic surgery for lung lobectomy in patients with non-small cell lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *World J Surg Oncol.* 2017;15(1):98.