

# Cirugía robótica (I): origen y evolución

C. Martínez-Ramos

*Servicio de Cirugía Mayor Ambulatoria. Hospital Clínico San Carlos. Facultad de Medicina. Universidad Complutense. Madrid*

---

Martínez-Ramos C. Cirugía robótica (I): origen y evolución. *Cir May Amb* 2007; 12: 89-96.

---

## INTRODUCCIÓN

La cirugía ha experimentado un desarrollo extraordinario durante los últimos 150 años con la introducción de la antisepsia, la anestesia, los antibióticos, la nutrición parenteral, la circulación extracorpórea, el desarrollo de prótesis, los trasplantes de órganos, etc. Pero a pesar de todos estos avances, las herramientas quirúrgicas y las técnicas permanecieron básicamente iguales en lo que respecta al gesto de “cortar y coser” con instrumentos manuales. También permaneció inalterable la necesidad de realizar la intervención quirúrgica mediante la visión y el contacto directo con el órgano o tejido objeto de la intervención.

A finales del siglo pasado se produjo un cambio paradigmático con la llegada de la *cirugía endoscópica*, ya que el cirujano no tiene que ver directamente ni tocar los tejidos u órganos que opera. Con el precedente de la pelviscopia en ginecología y la artroscopia en cirugía ortopédica, se origina la *cirugía laparoscópica*, que se ha definido como “la extensión de las manos y la miniaturización de los ojos” y que hace accesibles, mediante la utilización de pequeñas videocámaras, regiones anatómicas que anteriormente requerían grandes incisiones y que además mediante un monitor pueden visualizar todos los miembros que participan en la intervención.

El uso de estas técnicas de acceso mínimamente invasivo en diferentes especialidades quirúrgicas ha cambiado no sólo la ejecución de operaciones específicas sino también, y quizás eso sea más importante aún, el enfoque estratégico de toda la cirugía. Esto ha posibilitado que se puedan incluir actualmente determinados procedimientos quirúrgicos como de cirugía mayor ambulatoria o como de cirugía de corta estancia.

Pero, al margen de sus conocidas ventajas, la cirugía laparoscópica también ha incorporado importantes limitaciones, siendo las más destacables la pérdida de la sensación de profundidad, de la sensación táctil y de fuerza, y de la coordinación natural ojos-manos, con la consiguiente disminución de la destreza manual.

La pérdida de la sensación de profundidad es debida a la visión en dos planos que proporciona la observación del campo operatorio a través de un monitor. La disminución de la sensación del tacto hace que la manipulación tisular dependa siempre de la visualización, con la consiguiente situación de fatiga que se deriva de ello. Por otra parte, cuando se trabaja con imagen ampliada como en la cirugía laparoscópica el temblor, que en mayor o menor grado existe de manera fisiológica en las manos del cirujano, también aumenta y se magnifica, incrementando la incidencia de movimientos que no tienen un fin determinado. Para compensar esta situación el cirujano debe enlentecer el procedimiento aumentando el tiempo operatorio. A esto hay que añadir que la visión del campo quirúrgico a través de un monitor situado lejos del campo operatorio provoca la pérdida del eje *ojo-mano-campo operatorio* (Fig. 1) lo cual provoca una pérdida de la coordinación de movimientos, con la consiguiente pérdida de destreza quirúrgica.

En la cirugía laparoscópica se utiliza un instrumental largo, rígido, no articulado y con gran restricción de movimientos, ya que la mayoría tiene 4 grados de libertad



Fig. 1. Pérdida del eje "ojo-mano-campo operatorio" en la cirugía laparoscópica.

mientras que las articulaciones de la muñeca y de la mano humana tienen 7, lo que supone una considerable reducción. Además, el movimiento de los instrumentos observados a través de un monitor en 2 dimensiones produce una situación contraria a la que induce la intuición natural (imagen en espejo), lo cual determina que se deba mover en dirección opuesta a la que queremos dirigirlo. A esta situación se la conoce como *fulcrum effect* o "movimiento inverso" y origina una pérdida de habilidad y destreza.

Todas estas circunstancias condicionan al cirujano, que ha de operar adoptando posiciones fijas, rígidas, incómodas y nada ergonómicas, con la consiguiente aparición de fatiga que a su vez aumenta aun más el temblor y los movimientos no deseados, limitándose la maniobrabilidad y la destreza quirúrgicas, lo que se traduce en una mayor dificultad para la disección anatómica y, sobre todo, para la realización de determinadas maniobras quirúrgicas, como las anastomosis, que en algunos casos son incluso imposibles. Todo esto restringe el ámbito de utilización de la cirugía laparoscópica que no es factible en los procedimientos de gran dificultad técnica.

El desarrollo de los robots quirúrgicos se ha producido precisamente para superar y eliminar todas estas limitaciones técnicas y, de esta manera, aumentar y extender las capacidades de los cirujanos más allá de los límites que impone la cirugía laparoscópica.

En este trabajo se analizan el origen y el desarrollo de los robots quirúrgicos empleados actualmente en cirugía, dada su progresiva implantación en las salas de operaciones de un número cada vez más elevado de hospitales. Implantación que, con total seguridad, llegará a las unidades de CMA una vez se solucionen los problemas que actualmente presentan (coste elevado, gran tamaño, tiempo de preparación del robot, etc.).

## CONCEPTO DE ROBOT QUIRÚRGICO

El término "robot" deriva de la palabra checa *robota* empleada por el dramaturgo checo Karel Capek en la obra teatral, escrita en el año 1921, llamada *Rossum's Universal Robots (RUR)*. En ella el protagonista hace el papel de Dios, creando unos seres mecánicos (*robota*) para servir a la humanidad. Estos robots se perfeccionan y se rebelan más tarde convirtiendo a los humanos en sus servidores (1).

La palabra checa *robota* significa "trabajador" pero en esta obra se le daba el sentido de "trabajador forzoso" o "esclavo". En la época feudal de Checoslovaquia la palabra *robota* se aplicaba a los campesinos que eran obligados, dos o tres veces por semana, a abandonar sus propias tierras para trabajar sin remuneración en las tierras de los nobles. Esta palabra permaneció durante mucho tiempo con este significado, y aún actualmente los jóvenes la utilizan para referirse a trabajos aburridos y carentes de interés.

El sentido del término *robot* ha evolucionado desde su fase inicial, en la que se empleaba para describir máquinas que realizaban trabajos y tareas serviles y repetitivas, hasta el concepto actual en el que se considera que los robots realizan tareas no sólo altamente específicas y precisas sino también peligrosas, en la industria y en la investigación, y que antes eran imposibles de llevar a cabo con la fuerza y la destreza de un trabajador humano. En este sentido, los robots se utilizan actualmente y de forma rutinaria para construir microprocesadores, para explorar el espacio y las profundidades marinas o para trabajar en ambientes peligrosos, por citar sólo algunos ejemplos.

Los robots son esencialmente dispositivos mecánicos controlados por microprocesadores y equipados con sensores y motores, que desempeñan tareas físicas. Los robots quirúrgicos están basados en dos conceptos fundamentales que son la *realidad virtual* y la *cibernética*.

Se conoce como *realidad virtual* la situación o circunstancia que se produce cuando un ser humano tiene la sensación de encontrarse en un lugar distinto de donde físicamente está, gracias a la información generada exclusivamente por ordenador. El entorno que se genera y en el que el se encuentra inmerso se denomina *entorno virtual* y la situación de estar en él, *presencia virtual*.

La *cibernética* es la ciencia que estudia los sistemas de control y de comunicación de las personas con las máquinas. Dentro de ella se encuentra la *robótica*, que es una rama de la tecnología que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano o que requieren del uso de la inteligencia.

Los robots pueden ser *autónomos*, los cuales necesitan de un programa diseñado para realizar ciertas actividades y *esclavos*, que no tienen capacidad de movimiento autónomo y son absolutamente dependientes. En la cirugía robótica se utiliza un *robot esclavo* que no puede hacer ningún tipo de movimiento sin las órdenes del cirujano.

Es decir que es absolutamente dependiente del juicio, de los conocimientos y de la habilidad del médico. Consta de una estructura que semeja la anatomía de los brazos humanos, capaz de imitar los movimientos de diversas articulaciones como las del hombro, codo, muñeca y manos.

En la actualidad los *sistemas robóticos quirúrgicos* se entienden como aparatos concebidos con la finalidad de ayudar a mejorar la destreza y la capacidad quirúrgica en la cirugía laparoscópica, fundamentalmente la falta de precisión derivada de la reducción de la capacidad del cirujano para la manipulación quirúrgica y de la pérdida de la sensación de profundidad que provoca la visión en dos dimensiones. El aumento y la mejora de la destreza permiten al cirujano realizar manipulaciones que, sin este sistema, en algunos casos serían imposibles. Todo ello proporciona una considerable mejora en la seguridad.

Los robots quirúrgicos actuales disponen de un sistema interactivo tan veloz e intuitivo que la computadora desaparece de la mente del cirujano, percibiéndose como real el entorno generado por el sistema. A través de la realidad virtual el cirujano establece y determina las maniobras que el robot ejecutará en el paciente.

## EVOLUCIÓN DE LOS ROBOTS QUIRÚRGICOS

Se considera que la historia de los robots quirúrgicos comienza en el año 1985 con el robot *PUMA 560* (Fig. 2), un brazo robótico industrial utilizado para intentar aumentar la precisión en la realización de biopsias cerebrales mediante punción. Otros sistemas más elaborados, desarrollados posteriormente también para aplicaciones

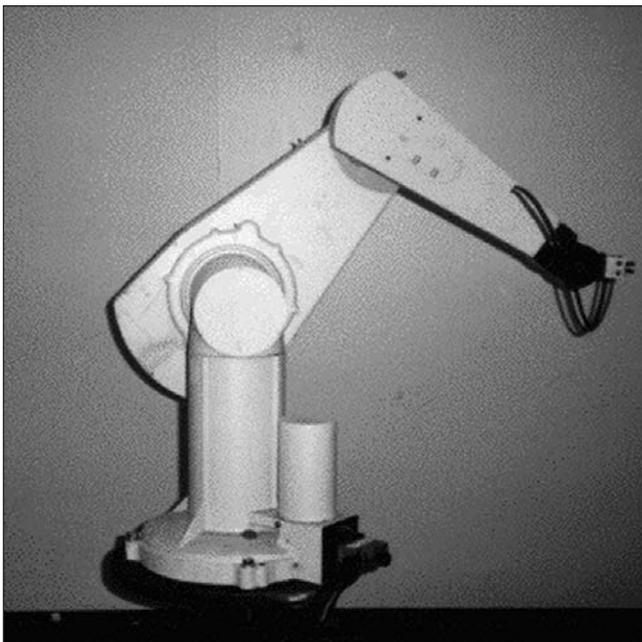


Fig. 2. Robot PUMA 560.

neuroquirúrgicas, fueron el robot *Minerva* (1993) para biopsias cerebrales estereotáxicas y el robot *Neuromate* (1995), tanto para biopsias como para neurocirugía estereotáxica (2).

El inicial robot *PUMA 560* condujo al ulterior desarrollo, en 1988, del robot *Probot*, diseñado específicamente para realizar prostatectomías de alta precisión, por uno de los grupos pioneros en investigación robótica médica dirigidos por B. L. Davies en el *Centro de Robótica del Colegio Imperial de Ciencias* de Londres quien, con los doctores J. E. A. Wickham y A. G. Timothy del Instituto de Urología, fueron los precursores de este modelo que se caracterizaba por tener seis brazos articulados (3).

Mientras tanto, la empresa *Integrated Surgical Supplies Ltd.* de Sacramento, California, desarrollaba el robot *Robodoc*, un sistema robótico para utilización en cirugía ortopédica y diseñado para taladrar, mecánicamente y con más exactitud, las zonas óseas donde han de colocarse los implantes protésicos totales, tanto de cadera como de rodilla (4).

Un papel fundamental para la evolución de los robots quirúrgicos lo desempeñaron las investigaciones promovidas a finales de los años 80 tanto por la NASA como por el ejército de los EE.UU. para desarrollar la llamada *cirugía de telepresencia*. En el primer caso, para permitir intervenir en situaciones de urgencias quirúrgicas a los astronautas dado el desorbitado coste que supondría evacuarlos a la tierra e incluso la práctica imposibilidad de hacerlo. Y en el segundo caso, para poder operar, desde un sitio remoto y seguro, a los soldados heridos en el campo de batalla, ya que el 90% de las muertes en combate se producían por hemorragia secundaria a lesión de grandes vasos de las extremidades, en los soldados que no habían podido ser evacuados a los hospitales de retaguardia, siendo muy pocos los que morían, con las mismas heridas, si conseguían ser evacuados a tiempo. Es decir, se trataba de minimizar las muertes de soldados en combate por heridas potencialmente no mortales (5).

Este concepto de *telecirugía* fue uno de los motivos que con más fuerza impulsó el desarrollo de los robots quirúrgicos. En este sentido, un grupo de investigadores de la NASA y del *Ames Research Center* que trabajaban sobre *realidad virtual* aplicaron estos avances al desarrollo de la llamada *cirugía de telepresencia* o *telecirugía* (6).

Los trabajos iniciales para el ejército americano se realizaron, a finales de los años 80 y principios de los 90, en el *Stanford Research Institute* (SRI), donde trabajaban expertos en robótica y en realidad virtual. Philippe Gren, ingeniero de este instituto, junto con sus colaboradores investigó y desarrolló prototipos de sensores y efectores *maestro-esclavo* para poder realizar sistemas de tele-manipulación. Posteriormente, junto con Richard M. Satava, cirujano del ejército a cargo del *Advanced Biomedical Technology Program* (ABTP), desarrollaron un sistema capaz de realizar *manipulaciones quirúrgicas remotas* con la finalidad de poder atender a distancia las

heridas producidas en el campo de batalla (7). En su conjunto, el proyecto consistía en un sistema mediante el cual se podía transportar un soldado herido a un vehículo con equipamiento robótico quirúrgico y allí ser intervenido de manera remota, por un cirujano que se encontraría en un hospital de campaña (*Mobile Advanced Surgical Hospital, MASH*).

La posibilidad y la eficacia de este sistema se demostró experimentalmente en modelos animales, pero pruebas no publicadas demostraron que la conexión vía satélite impedía llevar a cabo la cirugía en el campo de batalla con las necesarias condiciones de seguridad (8).

Posteriormente, algunos de los ingenieros y cirujanos que trabajaron en este proyecto pasaron a desempeñar una actividad empresarial que condujo a la introducción y aplicación de la robótica en la comunidad quirúrgica civil. Fred Moll, uno de estos investigadores médicos, consideró que el verdadero valor del prototipo que se había desarrollado para la telecirugía militar por los investigadores del *Stanford Research Institute* radicaba realmente en el hecho de que constituía el primer paso para poder alcanzar posibles soluciones técnicas que resolvieran las principales limitaciones que tenía la cirugía laparoscópica. Cirujanos generales que se iniciaban en la utilización de la ese tipo de cirugía contactaron con este grupo investigador y comprobaron el potencial que poseían estos sistemas robóticos para mejorar sus limitaciones.

En este sentido, la empresa *Integrated Surgical Systems* (actualmente llamada *Intuitive Surgical*) de Mountain View, California, obtuvo en 1995 la licencia del *Stanford Research Institute* sobre el sistema quirúrgico de telepresencia que había ideado el ingeniero Phillip Green (*Green Telepresence Surgery System*) y se comenzó a rediseñar ampliamente este sistema robótico. En marzo de 1997 se probó en humanos el primer prototipo. En 1999 se completó el desarrollo del sistema robótico que posteriormente se comercializaría con el nombre *Sistema Robótico Quirúrgico Da Vinci*. Finalmente, en julio de 2000, fue aprobado por la FDA para uso quirúrgico (6).

Por otra parte, la empresa *Computer Motion, Inc.* de Santa Bárbara, California, desarrolló el sistema llamado AESOP (*Automated Endoscopic System for Optimal Positioning*) que consistía en un brazo robótico con una cámara endoscópica cuyos movimientos eran controlados por órdenes emitidas por la voz del cirujano (Fig. 3). Poco tiempo después, en 1994, la FDA aprobó su aplicación en cirugía (9).

Con la utilización del brazo robótico AESOP la empresa *Computer Motion* empezó a desarrollar otro mecanismo que se llamó *Sistema Robótico Quirúrgico Zeus* y que fue aprobado por la FDA en octubre de 2001 (10).

## SISTEMA ROBÓTICO QUIRÚRGICO DA VINCI

El sistema *Da Vinci* consta básicamente de los siguientes elementos: consola maestra, robot esclavo, instrumental y sistema de obtención de imagen.



Fig. 3. Brazo robótico AESOP controlado por órdenes emitidas por la voz del cirujano.

## Consola maestra

Es la mesa de control, situada a distancia de la mesa de operaciones, donde el cirujano ejecuta los movimientos que habrá de realizar el robot. Dado que este sistema es un robot tipo *maestro-esclavo*, el cirujano es el *maestro* y controla todas las acciones del *esclavo* que contiene los brazos robóticos. La consola sirve de *interface* o comunicación entre el cirujano y el robot (Fig. 4).

El cirujano observa el campo operatorio a través de unos binoculares contenidos en la consola, que proporcionan visión estereoscópica de alta resolución (Fig. 5). Sus brazos se colocan en unos reposabrazos almohadillados (Fig. 6) que proporcionan estabilidad y confort, aumentando la resistencia física, y sus manos cogen con los dedos unos manipuladores o mangos instrumentales similares a los que posee un instrumento quirúrgico de cirugía convencional (Figs. 5, 7 y 8).



Fig. 4. Robot Da Vinci. Consola maestra y brazos robóticos.



Fig. 5. Binoculares en la consola para visión estereoscópica de alta resolución.



Fig. 7. Mangos en la consola maestra para manipulación del instrumental quirúrgico.



Fig. 8. Mangos para manipulación del instrumental quirúrgico (detalle).



Fig. 6. Posición del cirujano en la consola maestra con reposabrazos almohadados.

En esta posición se restituye el eje *ojo-mano-campo operatorio* (Fig. 9) haciendo más ergonómico el sistema y más fácil de realizar la operación. La sensación que se obtiene es como si se introdujera la mano en el interior



Fig. 9. Recuperación del eje "ojo-mano-campo operatorio".

del paciente para realizar procedimientos quirúrgicos complejos.

La consola traduce los movimientos en 3 dimensiones de las manos del cirujano en impulsos eléctricos que a su vez son transformados en órdenes para los brazos robóticos que realizarán idénticos movimientos en 3D. Usando los controles de la consola el cirujano puede realizar la cirugía, modificando sus movimientos, en escalas de 1 a 1, de 3 a 1 o de 5 a 1 (6).

La consola controla y chequea cada uno de los motores del robot y verifica la posición del instrumental quirúrgico que se esté utilizando cada 750 microsegundos, eliminando pues la posibilidad de que se produzcan movimientos erróneos. El *software* está diseñado de manera que si el cirujano hace un movimiento brusco los brazos robóticos se frenan automáticamente y, además, un sistema de rayos infrarrojos los desactiva siempre que el cirujano retire los ojos del sistema binocular (6).

### Robot esclavo

El robot esclavo está constituido por tres brazos (actualmente puede haber un cuarto), uno de los cuales contiene el manipulador para la cámara y los otros dos los manipuladores de instrumentos articulados que reproducen los movimientos de las manos del cirujano realizados desde la consola maestra (Fig. 10). El robot esclavo se encuentra conectado a la consola por medio de cables y está montado en un soporte móvil que permite instalarlo al lado de la mesa de operaciones (Fig. 4).



Fig. 10. Robot Da Vinci. Brazos robóticos.

### Instrumental

Se utiliza un instrumental especial, con un pequeño sistema de articulación mecánica llamado *EndoWrist* que es un componente clave del sistema robótico. El ordenador del robot transmite los movimientos de la mano del

cirujano a la punta articulada del instrumental en donde son reproducidos en el mismo sentido (Fig. 11), eliminando el *efecto fulcrum* o de movimiento inverso y proporcionando 7 grados de libertad de movimientos en cada mano, lo que confiere la posibilidad de una gran destreza (11). Este instrumental articulado puede tener como efector final cualquier instrumento quirúrgico estándar y convencional utilizado en la cirugía abierta: tijeras, bisturí, diferentes tipos de pinzas, ganchos, disectores, porta-agujas, etc., y puede intercambiarse durante la cirugía con la ayuda del instrumentista y del ayudante del cirujano.

Los brazos de un ser humano tienen 29 *grados de libertad* de movimiento que realizan en los tres planos cartesianos, por lo que pueden realizar 594.823.321 movimientos. El instrumental de sistema *Da Vinci* tiene 7 *grados de libertad* de movimientos en tres planos cartesianos o sea 117.649 movimientos, esto representa el 0,019% del total de la capacidad del brazo del ser humano, cercano al que utiliza el cirujano en una cirugía convencional. Esta cifra es muy superior comparada con los 3 *grados de libertad* y 729 movimientos que podemos realizar con los instrumentos de cirugía laparoscópica y que representan únicamente el 0,00012% del total de la capacidad del brazo humano y el 0,61 % de la capacidad del robot *Da Vinci* (6).



Fig. 11. Instrumental articulado utilizado por el robot *Da Vinci*.

### Sistema de obtención de imagen

Es muy parecido al sistema convencional utilizado en cirugía laparoscópica pero en *tercera dimensión real*.

Consta de una cámara doble (Fig. 12) que le permite obtener dos señales de vídeo (canal derecho e izquierdo) que al integrarse conforman una señal de vídeo estereoscópica, que es proyectada por dos monitores de alta resolución a un sistema conocido como “caja de espejos” para crear una tercera dimensión real, la cual proporciona al cirujano la sensación de “inmersión” en el campo quirúrgico y de que la punta de los instrumentos quirúrgicos constituyen una extensión de los mandos de control de la consola maestra. Cuando el cirujano mueve la cámara en el campo operatorio consigue el efecto conocido como “navegación”. Las imágenes obtenidas por medio de los visores telescópicos logran aumentar hasta 20 veces el tamaño normal, lo que permite al cirujano ver los órganos con mucho más detalle (6).

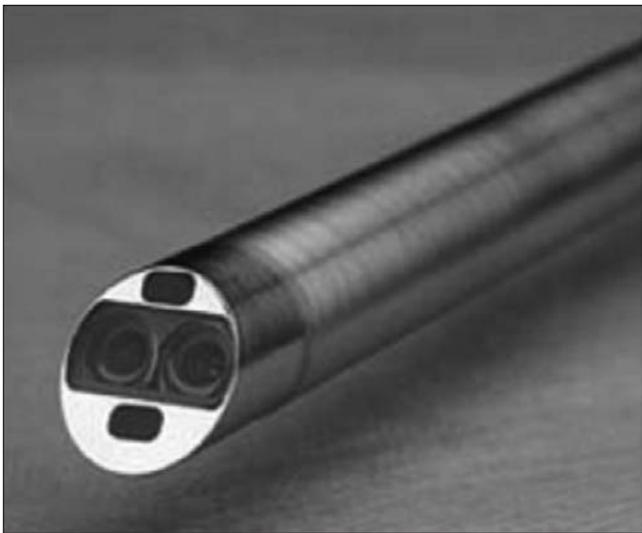


Fig. 12. Robot Da Vinci. Cámara doble en el sistema de obtención de imagen.

### Procedimiento

El cirujano opera sentado confortablemente en un asiento que puede ajustar a su altura y con la proximidad que desee con respecto a la consola maestra. Sitúa los brazos en unos reposabrazos. Coloca su cabeza de manera que sus ojos se ajusten a los visores que le permiten ver imágenes reales del interior del paciente en tres dimensiones. Los dedos del cirujano cogen el instrumental por debajo de las imágenes, con las muñecas posicionadas de forma natural en relación a sus ojos, devolviendo al cirujano la perspectiva y la sensación de *estar dentro del campo operatorio*, todo lo cual se ha perdido con la cirugía laparoscópica.

Mediante la cámara telescópica, el cirujano puede “navegar” dentro del cuerpo del enfermo, localizar el órgano afectado e interactuar con tijeras, pinzas de sujeción, bisturí, electrocauterio, láser, disectores ultrasónicos y el resto de los recursos quirúrgicos. El cirujano siempre está

viendo a través de los monitores el instrumental que utiliza.

Los movimientos de los brazos del robot, se originan en las manos del cirujano por medio de manipuladores o mangos instrumentales similares a los que posee el instrumental quirúrgico de una cirugía convencional. Estos se encuentran conectados a la consola maestra y al moverlos generan comandos reales que pasan por un sistema avanzado de computación, donde son digitalizados y editados a la velocidad de la luz, para luego ser transmitidos a los brazos del robot que ejecutará lo dispuesto. En la consola del cirujano se restituye el eje *ojo-mano-campo operatorio* que se pierde en la cirugía laparoscópica, haciendo más ergonómico el sistema y más fácil de realizar la operación.

### SISTEMA ROBÓTICO QUIRÚRGICO ZEUS

El *sistema Zeus* está constituido por dos subsistemas físicamente separados entre sí y llamados “terminal del cirujano” y “terminal del paciente”. El *subsistema del cirujano* tiene la consola que recibe las instrucciones del cirujano; el *subsistema del paciente* contiene dos brazos robóticos que traducen las instrucciones del cirujano en movimientos de los instrumentos que contienen.

Es básicamente similar al *sistema Da Vinci*. Consta de 3 brazos robóticos interactivos colocados en la mesa de operaciones, un sistema de control computerizado y una consola ergonómica para el cirujano. Uno de los brazos robóticos es utilizado para posicionar el endoscopio que proporciona la visualización del campo operatorio. Los otros 2 brazos robóticos manipulan los instrumentos quirúrgicos bajo el control del cirujano.

El cirujano sentado en la consola puede observar el campo operatorio bien en 2 o en 3 dimensiones (Fig. 13). Controla los movimientos del sistema endoscópico mediante *comandos de voz* ya que la cámara es manejada

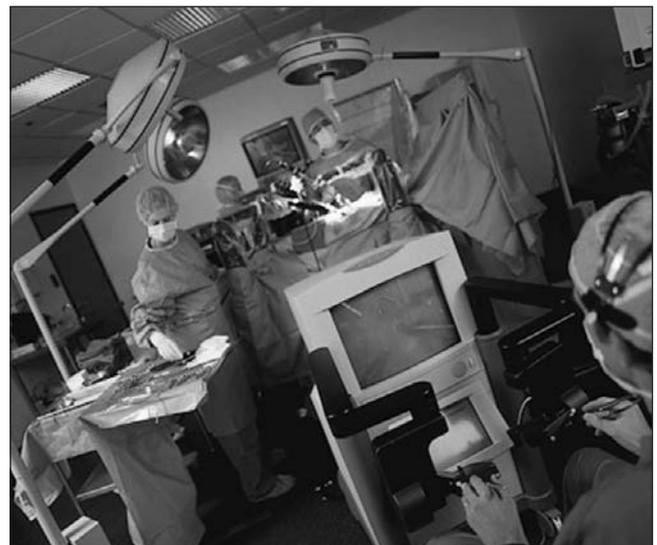


Fig. 13. Robot Zeus.

por un brazo de tipo AESOP. Los movimientos del instrumental quirúrgico son controlados por manipuladores situados en la consola (10).

Las diferencias fundamentales entre los dos sistemas robóticos se encuentran, en primer lugar, en la consola. En el sistema *Da Vinci* el cirujano mira hacia abajo (Fig. 6), hacia un visor binocular que se caracteriza por poseer dos señales de vídeo (canal derecho e izquierdo) (Fig. 5) (11). En el sistema *Zeus* el cirujano se encuentra frente a una pantalla vertical que muestra una imagen en 2 dimensiones (Fig. 13) aunque puede proporcionar una imagen en 3 dimensiones estereoscópica utilizando unas gafas de luz polarizada. A diferencia del sistema *Da Vinci*, el brazo que soporta la cámara posee un mecanismo de control accionado mediante la voz del cirujano.

En el mes de junio de 2003 se produjo la fusión de las empresas constructoras de ambos robots tras la compra de *Computer Motion* por *Intuitive Surgical*. A partir de ese momento el objetivo prioritario de la empresa se centró únicamente en el sistema *Da Vinci*.

## CONCLUSIONES

Las principales propiedades de los sistemas robóticos actuales son: visión en 3 dimensiones con aumento del tamaño y de la resolución de la imagen y desaparición del efecto *fulcrum* o de movimiento inverso; recuperación del eje *ojo-mano-instrumental* y de la posición ergonómica del cirujano; eliminación del temblor fisiológico; utilización de instrumental articulado, más pequeño y con mayor movilidad; posibilidad de movimientos en escala.

Gracias a estas características los sistemas robóticos proporcionan al cirujano un control intuitivo, una amplia gama de movimientos, capacidad de manipulación de tejidos finos y visualización en tres dimensiones, todo lo cual es característico de la *cirugía abierta o convencional*, pero todo ello realizado a través de pequeñas incisiones, que son típicas de la *cirugía laparoscópica o de acceso mínimamente invasivo*. Los sistemas robóticos devuelven al cirujano la perspectiva y la sensación de "estar dentro del campo operatorio".

A pesar de encontrarnos en la fase inicial de su utilización, los robots quirúrgicos han adquirido ya un tremendo potencial para mejorar la precisión y la capacidad de los cirujanos frente a las intervenciones quirúrgicas. Numerosos cirujanos pertenecientes a muy diversas especialidades como cirugía general, cirugía torácica no cardíaca, cirugía cardiovascular, cirugía urológica, neurocirugía, cirugía vascular periférica, cirugía ginecológica,

etc. ya han incorporado a su práctica diaria el uso de esta tecnología (12).

Los robots quirúrgicos, cada vez más sofisticados, continuarán incrementando su utilidad y cada vez serán más y más utilizados. En un futuro próximo cambiarán, con total seguridad, la fisonomía y estructura de las salas de operaciones y además mejorarán drásticamente los resultados de los procedimientos quirúrgicos, sobre todo de los realizados mediante cirugía de acceso mínimamente invasivo ya que han sido diseñados, precisamente, para superar las dificultades y las limitaciones técnicas de esta cirugía, la cual llegará a ser más segura, más fácil y, por tanto, más asequible. En este sentido, algunos autores consideran que la cirugía laparoscópica ha constituido una tecnología de transición hacia la cirugía robótica (13).

Y si consideramos que la cirugía de acceso mínimamente invasivo ha revolucionado el mundo de la cirugía moderna, la cirugía robótica se está convirtiendo actualmente en el paradigma de la cirugía de nuestra era y de su futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery. A current perspective. *Ann Surg* 2004; 239: 14-21.
2. Cleary K, Nguyen CH. State of the art in surgical robotics: Clinical applications and technology challenges. *Computer Aided Surgery* 2001; 6: 312-28.
3. Davies BL, Hibberd RD, Timoney AG, Wickham JEA. A clinically applied robot for prostatectomías. In: Taylor RH, Lavalley S, Burdea GC, Mosges R, editors. *Computer-Integrated Surgery*. MIT Press; 1995. p. 593-601.
4. Nogler M, Polikeit A, Wimmer C, Bruckner A, Ferguson SJ, Krismer M. Primary stability of a Robodoc implanted anatomical stem versus manual implantation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2004; 19: 123-9.
5. Bellamy RF. The causes of death in conventional land warfare: Implications for combat casualty care research. *Mil Med* 1984; 149: 55-63.
6. Ballantyne GH, Moll F. The da Vinci telerobotic surgical system: The virtual operative field and telepresence surgery. *Surg Clin N Am* 2003; 83: 1293-304.
7. Satava RM. Virtual reality and telepresence for military medicine. *Ann Acad Med Singapore* 1997; 26: 118-20.
8. Cirugía robótica. Inicios y evolución. Disponible en: <http://ciberhabitat.gob.mx/hospital/robotica/inicio.htm>
9. Sackier JM, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. *Surg Endosc* 1994; 8: 63-6.
10. Marescaux J, Rubino F. The Zeus robotic system: Experimental and clinical applications. *Surg Clin N Am* 2003; 83: 1305-15.
11. Rossetti A, Sizzi O. Robotically-assisted laparoscopic surgery. *The Trocar* 2002. Available at: <http://thetrocar.net/view.asp?ID=12>
12. Galvani C, Horgan S. Robots en cirugía general: presente y futuro. *Cir Esp* 2005; 78: 138-47.
13. Satava RM. Emerging technologies for surgery in the 21<sup>st</sup> century. *Arch Surg* 1999; 134: 1197-202.