

# Cirugía y Cirujanos

Volumen  
*Volume* **69**

Número  
*Number* **6**

Octubre-Diciembre  
*October-December* **2001**

*Artículo:*

Brazo robótico para sujetar y  
posicionar laparoscopios. Primer  
diseño y construcción en México

Derechos reservados, Copyright © 2001:  
Academia Mexicana de Cirugía

Otras secciones de  
este sitio:

- ☞ Índice de este número
- ☞ Más revistas
- ☞ Búsqueda

*Others sections in  
this web site:*

- ☞ *Contents of this number*
- ☞ *More journals*
- ☞ *Search*



**Medigraphic.com**

# Brazo robótico para sujetar y posicionar laparoscopios. Primer diseño y construcción en México

Dr. José Luis Mosso-Vázquez,\* Dr. Arturo Minor-Martínez,\*\*  
Dra. Verónica Lara-Vaca,\*\*\* Dr. Enrique Maya\*\*

## Resumen

**Introducción:** presentar las características físicas y funcionales del primer brazo robótico para sujetar laparoscopios, diseñado y construido en el Laboratorio de Bioelectrónica del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

**Método:** en un periodo de dos años se construyó un brazo robótico de cinco grados de libertad con tres articulaciones y un efector final con un peso aproximado de 25 kg para sujetar laparoscopios de 10 mm de diámetro, así como tres softwares que permita al cirujano operarlo con: movimientos cefálicos mediante luz infrarroja, reconocimiento de voz o por un control manual físico.

**Resultados:** se obtuvieron movimientos básicos para manipular el laparoscopio (arriba, abajo, adentro-afuera, derecha-izquierda dentro de un simulador físico y la interfase más práctica fue el teclado o control manual físico, sin dejar de considerar que los sistemas de navegación creados por control ocular y por procesamiento de voz son rápidas, fáciles y precisas, porque el cirujano controla el laparoscopio de manera natural o automática sin necesidad de analizar la posición previa pero con la desventaja de requerir mayor atención e inmovilidad corporal del cirujano, estas interfases pueden operarse en forma alterna o simultáneamente y adaptarse a ellas de acuerdo a las habilidades del cirujano. El uso del manipulador es flexible, es decir, la interfase se elegirá de acuerdo a la adopción del cirujano por el sistema y podrá usarse previo ajuste de sistemas y ser dirigido por internet, intranet, satélite, telefonía celular e internet 2. Los sistemas descritos por los autores son ideas originales, innovadoras, y únicas. Actualmente el proyecto es avalado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con el No. 34989-A.

**Discusión:** se pretende demostrar la factibilidad de movimientos con un brazo robótico de cinco grados de libertad en un simulador físico, así como establecer la relación hombre-máquina por medio de tres interfases: control manual, control ocular o procesamiento de voz para que en un futuro cercano primero se demuestre en animales de experimentación, la capacidad de navegación y finalmente sea aplicado en humanos.

**Palabras clave:** cirugía robótica, telecirugía, optoelectrónica.

## Summary

**Introduction:** To present the physical and functional characteristics of the first robotic arm to hold and place laparoscopes designed and built in the Bioelectronic Department in the Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav del IPN) in Mexico City.

**Method:** In 2 years (1998-2000), we built a robotic arm with 5° of freedom to hold laparoscopes of 10 mm of diameter with three softwares to manipulate laparoscope with ocular motion, voice recognition, and physical control manual.

**Results:** We built a robotic arm of 5° of freedom to hold and place 10-mm laparoscopes and three navigation programs developed to operate robotic arm. We think the navigation systems created and controlled by head motions (optoelectronic) and by the voice processing are unique, fast, easy, and more precise because the surgeon controls the laparoscope automatically with his/her head without the need of prior analysis of laparoscope position, but with the disadvantage of requiring greater concentration and immobility, and therefore discomfort and seeing that motion of the scope would be out of the operating field. We can operate these interphases simultaneously or alternately and adjust in accordance with the surgeon's skill. It is possible to use the robotic arm in the following surgical fields: laparoscopic surgery; thoracoscopy, cardiovascular laparoscopic surgery, and arthroscopy.

The manipulator is flexible, the surgeon can choose the interphase, this system could be teleoperated by Internet, intranet, satellite, telephones, and internet 2. The authors describe original, innovative, and unique ideas.

**Discussion:** We think to demonstrate the feasibility to control the laparoscopes with different programs (softwares) with a robotic arm of five degrees of freedom. We consider that with these results in a nearly future we could perform laparoscopic surgeries in experimental animals and then in the human patients.

**Key words:** Robotic surgery, Telesurgery, Optoelectronic.

\* Clínica Hospital Alberto Pisanty Ovalia, ISSSTE, HGZ No. 27, IMSS.

\*\* Sección de Bioelectrónica, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

\*\*\* Hospital de Ginecología y Obstetricia Unidad Tlaloc IMSS, Hospital Gonzalo Castañeda ISSSTE.

*Solicitud de sobretiros:*

Dr. José Luis Mosso Vázquez. Andador 21, Edificio 15, Entrada B, Departamento 004. Unidad Habitacional Acueducto de Guadalupe. C.P. 07270. México D.F. Teléfono: (5) 3 67 09 13, E-mail: telesurgery@mixmail.com

*Recibido para publicación:* 20-10-2000.

*Aceptado para publicación:* 17-10-2001.

## Introducción

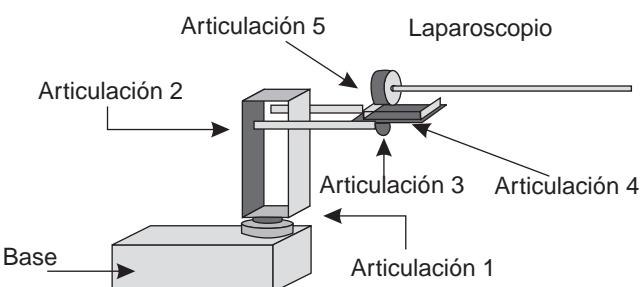
Nos propusimos diseñar y construir un brazo robótico de cinco grados de libertad para ser dirigido por movimientos cefálicos, reconocimiento de voz y por un control manual físico para aplicarse en diversas disciplinas quirúrgicas y teleoperar el laparoscopio. Minor y cols. en 1993 desarrolla un sistema detector de posición ocular mediante luz infrarroja reflejada para control de servomecanismos (instrumento virtual por movimiento ocular) para pacientes neurológicos que conservan únicamente el control de los músculos extraoculares (pares craneales IV y VI) como pacientes con esclerosis lateral amiotrófica o aquellos con cuadriplejías o cuadriparesias, con el objeto de crear interfaes interactivas usando movimientos oculares voluntarios y crear un sistema de comunicación entre el hombre y máquina para la rehabilitación de personas discapacitadas y ofrecer una mejor calidad de vida<sup>(1,2)</sup>. Consideramos que si el sistema descrito es capaz de manipular un brazo robótico para apoyar a pacientes con secuelas neurológicas, entonces es factible adaptarlo para teleoperar brazos robóticos en cirugía laparoscópica. El primer brazo robótico diseñado para cirugía laparoscópica robotizada es el esopo construido en Goleta California por la compañía Computer motion en 1993 por Jonathan Sackier y Yulg Wang<sup>(3)</sup>, actualmente existe la tercera versión denominada esopo 3000 (hermes), operado por comandos de voz con memoria de posicionamientos; se han desarrollado otros tipos similares como el lars e hisa construidos por IBM y The Johns Hopkins Medical School en Baltimore Maryland EUA, éstos tienen la particularidad de sujetar y posicionar laparoscopios, así como facilitar la toma de biopsias transoperatorias, almacenamiento y amplificación de imágenes<sup>(4,5)</sup>. Francia, Alemania y Japón han construido sistemas similares<sup>(6,7)</sup>. El coronel Richard Satava<sup>(8-11)</sup>, aplica tecnología de telepresencia en el campo de la robótica médica mejorando la relación hombre-máquina para realizar telecirugía. El 12 de junio de 1996 Mosso y cols. realizan la primera telecirugía laparoscópica en México asistida por un brazo robótico en animales de experimentación en el laboratorio de robótica de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, el sistema que se desarrolló desde 1993 con un robot puma 6000 de umimation para propósitos generales modificándose la programación (software) para sujetar y posicionar un laparoscopio capaz de ser teleoperado por un cirujano experto<sup>(12,13)</sup>.

## Método

Diseño y construcción del brazo robótico. De 1998 al 2000 diseñamos y construimos en el laboratorio de bioelectrónica en el Cinvestav del IPN. México un brazo robótico, robusto de 5 grados de libertad compuesto por una base, tronco, brazo y efecto final (Figura 1) que sujeta el laparoscopio con cinco articulaciones de las cuales cuatro son rotatorias y uno

lineal (Figura 2), el material es de aluminio, de fierro para las áreas de desplazamiento rotatorio y de bronce para las áreas de deslizamiento, el efecto final o porta laparoscopio está construido en acrílico, los motores para cada articulación son de corriente directa con transmisión engranada, el sistema integrado cuenta con un peso aproximado de 20 kg y un espacio de trabajo en forma de un cono tridimensional con diámetro de base de 50 cm y altura de 30 cm (Figura 3); ejecuta movimientos de izquierda a derecha de arriba-abajo y de profundidad manteniendo fija la porción que hace contacto con la pared abdominal, en caso de interrupción de corriente eléctrica, el sistema garantiza un frenado con desplazamiento suave para evitar lesiones a tejidos u órganos. Los motores para cada articulación son de corriente directa con transmisión engranada (Figura 4).

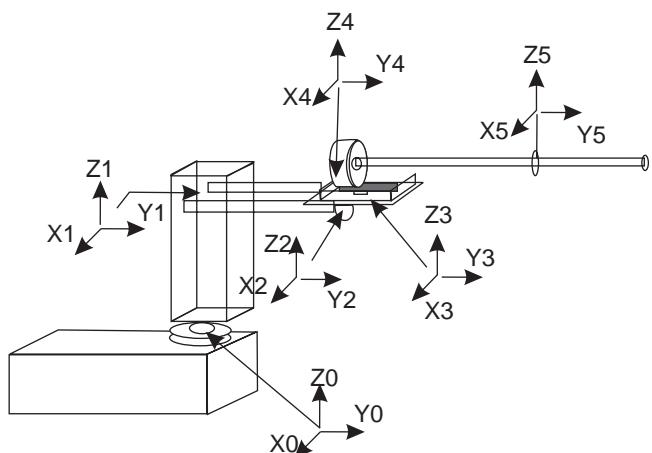
Desarrollo de los sistemas de navegación. Interfase por optoelectrónica (movimientos cefálicos). El sistema lo conforman: una fuente de luz infrarroja y cuatro sensores montados sobre la superficie convexa del cristal de anteojos convencionales, cada sensor detecta un nivel diferente de intensidad de luz reflejada al moverse el ojo y es esta diferencia de intensidad la registrada para indicar la dirección del movimiento ocular, para que este sistema de detección funcione debe estar asociado a un sistema intérprete de movimiento y dirección, esta etapa la desarrolla un sistema electrónico que detecta los movimientos oculares y que produce a la salida niveles eléctricos con corrimientos para cada dirección. El diseño del dispositivo de posición ocular dop cuenta con las siguientes características: no presenta contacto directo con la córnea, permite registros por tiempos prolongados sin que se afecte el sistema detector, los detectores son de pequeño tamaño, la instrumentación requerida es mínima, como sensores se emplearon cuatro fototransistores (op316b de 2 mm de diámetro) y un diodo emisor de luz infrarroja (op165 de 3.2 mm de diámetro), los cuales se montaron sobre uno de los cristales de un par de anteojos de tal manera que los fototransistores apuntaran en el limbo y que la luz del diodo iluminará al ojo uniformemente.



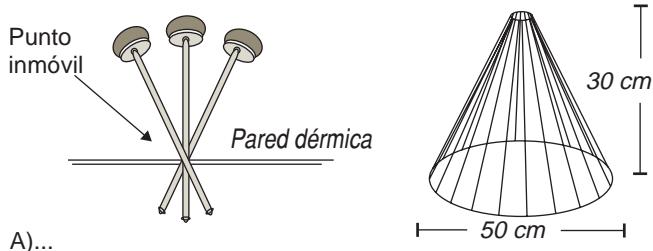
**Figura 1.** Modelo del brazo robótico.

### Sistema de navegación por comandos de voz

Los comandos de voz para desplazar verbalmente las articulaciones del robot son: sube (up), baja (down), dere-



**Figura 2.** Modelo matemático del brazo robótico.



A)...pared abdominal

**Figura 3.** Área de trabajo.



**Figura 4.** Modelo físico del brazo robótico.

cha (right), izquierda (left), entrar (in), salir (out), sí (yes), no (no), además de un chasquido para detener el desplazamiento del movimiento en la dirección en la que se esté desplazando, los comandos sí, no son para garantizar la seguridad de activación. Para usar la voz como comando de control, se requiere de tres etapas principales, adquisición y adecuación, análisis y descomposición en parámetros temporales y frecuenciales así como reconocimiento y activación. El reconocimiento de cada comando verbal tiene dos etapas, la primera que no se describe aquí es la etapa de descomposición en parámetros de todos los fonemas involucrados. La clasificación de los parámetros que son repetitivos de cada fonema implícito en los comandos verbales utilizados, dicho por diferentes usuarios y su actualización en una base de datos para el reconocimiento de los comandos verbales que se estarán comparando o clasificando continuamente. La segunda etapa que consiste en el reconocimiento del comando verbal propiamente dicho. El siguiente diagrama ilustra la etapa de reconocimiento y activación, el sistema global responde a los mismos comandos verbales dichos por niños, adultos masculinos y femeninos. Por su tiempo de respuesta (1 seg) obtenido; el método de activación por voz se puede aplicar a la activación de servosistemas para cirugía, activación de sistemas a larga distancia etc.

### Sistema de navegación por control manual

Se diseñaron dos programas para la manipulación del robot por control manual, el primero de ellos, consiste en establecer un control individual de cada articulación por medio del teclado de la computadora para aproximar el laparoscopio al trócar colocado en la pared abdominal, el segundo programa se usa una vez que el cirujano ha introducido manualmente el laparoscopio dentro de la cavidad abdominal, dicho programa permite manipular al robot dentro de la cavidad, actualmente el teclado ha sido sustituido por un control manual físico para facilidad en el manejo o control por el cirujano. Cada una de las articulaciones tiene un componente mecánico, que es la extensión en aluminio, un componente de activación que es un motor eléctrico con un sistema de transmisión para proporcionar la potencia adecuada, una etapa de potencia electrónica para activar el motor y una etapa de control que proporciona la computadora con dos subcomponentes, el primero es una etapa que envía señales de la computadora hacia el exterior y el otro componente es el programa.

## Resultados

Logramos diseñar y fabricar un brazo de 20 kg de peso que sujetaba la endocámara (Figura 4) con la posibilidad de

**Cuadro I.** Movimientos obtenidos

Interfase	Arriba-abajo	Derecha-izq.	Diagonales	Dentro-fuera	Total
Mov. cefálico	Sí	Sí	No	No	2
Voz	Sí	Sí	Sí	Sí	4
Control manual	Sí	Sí	Sí	Sí	4

dirigirlo por movimientos cefálicos, procesamiento de voz y control manual, se demostró en un simulador físico (Caja construida de plástico y aluminio) cuatro movimientos básicos con el sistema de optoelectrónica o por movimientos cefálicos (derecha, izquierda, arriba y abajo) y nueve con los de reconocimiento de voz y el control manual: derecha-izquierda, arriba-abajo, adentro-afuera, rotación a la derecha, rotación a la izquierda y diagonales. Los problemas que se presentaron durante el desarrollo fueron en los sistemas de transmisión mecánica, de acoplamiento electrónico, desconocimiento inicial de la cirugía laparoscópica, mayor concentración del cirujano, pues al menor movimiento cefálico no deseado o involuntario ocasionó que el manipulador se desplazara junto a la imagen del área quirúrgica a pesar de haberse proporcionado un margen de seguridad, este margen de error puede mejorarse modificando parte del sistema para evitar pérdidas de tiempo, fatiga como consecuencia a los movimientos involuntarios del ojo, párpados o cabeza, también la velocidad de navegación sobre la pantalla se puede modificar en la circuitería de enlace. El dispositivo de posición optoelectrónica cuenta con indicadores visuales que proporcionan retroalimentación visual al paciente de la posición de sus ojos o de su cabeza lo cual permite minimizar los errores que surjan por indicaciones falsas, la mayor precisión en el control del dispositivo dependerá de la experiencia y habilidad con la cual el cirujano aprenda a controlar el movimiento cefálico o de sus ojos para lo cual se requiere un periodo de entrenamiento quizás mayor que las demás interfases o probablemente dependa de la capacidad de adaptación de cada cirujano. Es necesario calibrar el sistema con cada cirujano, es decir, es fácil de instalar, confiable y adaptable. Se obtuvieron desplazamientos satisfactorios (arriba-abajo, derecha-izquierda) y dificultad para los movimientos diagonales: izquierda-superior, derecha-superior, y derecha-inferior, donde se requirió mayor habilidad para el manejo de parte del cirujano. La desventaja es que la cabeza y la mirada se deben conservar siempre fijas durante su uso y los sensores deben alinearse adecuadamente, los desplazamientos del robot por medio de los lentes es bidireccional, logrando desplazamientos del manipulador hacia arriba-abajo y derecha-izquierda. Con los movimientos cefálicos se lograron tres direcciones (arriba-abajo, derecha-izquier-

da, y diagonales (Cuadro I). Con el control manual y por voz en cuatro direcciones: arriba-abajo, derecha-izquierda, diagonales y adentro-afuera (Cuadro I). Con el control ocular se presentó el mayor número de problemas para posicionar el manipulador ante cualquier movimiento ocular.

Se obtuvo una tesis de postgrado (Maestría en ciencias en bioelectrónica) con una duración de 2.5 años. El costo del proyecto fue 20 veces menor a los comerciales.

## Discusión

Hasta el momento se habían desarrollado robots especializados para asistir cirugías laparoscópicas con un solo programa para operarlos y con una función a un costo por lo general fuera de nuestras posibilidades y tal vez la limitación más importante, usar sistemas de alta tecnología donde el cirujano y el científico disponen solamente de tecnología de usuario final que limita la posibilidad de proponer nuevas tecnologías de aplicación así como su uso en otras áreas interesantes e importantes. Mejoramos los desarrollos citados porque el robot es de arquitectura flexible capaz de adaptarse fácilmente a las necesidades del cirujano como a él mejor convenga, con una precisión similar a los demás y mejorable con el tiempo.

La ventaja que representa este sistema es la de ofrecer al cirujano laparoscópico, la posibilidad de elegir el sistema de navegación que le facilite operar, es decir, adoptar al igual que procedimientos quirúrgicos el sistema que le ofrezca mayor comodidad para obtener confort, ergonomía, rapidez y precisión para posicionar la endocámara con el movimiento de sus ojos o por control visuomotriz o ejecutar en forma alterna dichos sistemas en función de la técnica quirúrgica o del propio cirujano, consideramos desde nuestro punto de vista que la aplicación de la optoelectrónica combinada con algún otro programa nos permitirá una mayor navegación óptima del laparoscopio en la cavidad abdominal de manera automática de acuerdo a la posición de sus ojos sin ser necesario el análisis (coordinación psico-motriz) previo de la posición del laparoscopio, lo que distrae la atención en el transoperatorio. Con este proyecto se abren nuevas líneas de investigación con posibilidades de aplicar el sistema en todo procedimiento quirúrgico que aplique fibra óptica

sin ser necesario realizar nuevas inversiones a costos elevados para construir manipuladores, debido a que presenta usos múltiples en las salas del quirófano como en artroscopías de rodilla, hombro, etc. o en toracoscopías, cirugía cardiovascular o en la manipulación del laparoscopio en neurocirugía o manipulación de material radiactivo en braquiterapia para evitar la radiación a los médicos especialistas en pacientes con cáncer.

Finalmente este robot puede integrarse a sistemas de telecirugía para ser operado a distancia por medios alámbricos, satélites, telefonía celular o internet 2 en tiempo real, en una misma institución, dentro de nuestro territorio o países del primer mundo que cuenten con proyectos y sistemas similares y compatibles.

## Referencias

1. Minor MA, González CA. Detector de posición ocular mediante luz infrarroja reflejada para control de servomecanismos. Rev Mex Ing Biomed 1993;14:139-144.
2. La Course JR, Hludik FC Jr. An eye movement communication-control system for the disabled. IEEE Transac Biomedical Eng 1990; 37:1215-1220.
3. Sackier JM, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery. Surgery Endosc 1994;8:63-66.
4. Kavoussi LR, et al. Telerobotic assisted laparoscopic surgery initial laboratory and clinical experience. Urology 1994;44:9-15.
5. Kavoussi LR, et al. Complete robot-assisted laparoscopic urologic surgery, a preliminary report. Urology 1995;181:552-557.
6. Michel LT. Chirurgie assiste, opéré par un robot. Technol Intern 1995; 3:60-63.
7. Jean MB. Le robot chirurgien. Medecine 1995;10:122-129.
8. Satava RM. Surgery 2001, a technology framework for the future surgery. Endoscopy 1993;7:111-113.
9. Satava RM. Forward. Surg Technol Intern IV 1995;4:23-24.
10. Satava RM, Simon IB. Teleoperation, telerobotics and telepresence in surgery. Endosc Surg Allied Technol 1993;1:151-153.
11. Simon IB. Surgery 2001. Concept of the presence surgery. Surg Endosc 1993;7:462-463.
12. Mosso VJL, et al. Colecistectomías laparoscópicas asistidas por un brazo robot teleoperado a 10 metros de distancia. Ciruj General 1999; 21:197-203.
13. Mosso VJL, Joskowics L. Desarrollo de la cirugía guiada por computadora. Ciruj General 1998;20:128-129.

