



# Estado del arte en cirugía robótica

Dr. Adrián Carbajal Ramos\*

## INTRODUCCIÓN

**E**l progreso de la cirugía contemporánea es indiscutible mente consecuencia de la convergencia tecnológica que ha influido de forma determinante en el desarrollo de la cirugía de mínima invasión y que ha conseguido disminuir sustancialmente el dolor posoperatorio, ha tenido influencia definitiva en la recuperación posquirúrgica, además de mejorar cosmesis y disminuir las complicaciones tardías de la cirugía convencional. El éxito de esta convergencia ha motivado que otros polos de desarrollo encuentren hoy un terreno fértil para su potencial aplicación; realidad virtual, telemedicina y cirugía de telepresencia son hoy términos que se incorporan frecuentemente a nuestro lenguaje. Todos tienen factores en común; la informática, las comunicaciones, la computación y la cibernetica, con sus tres áreas, la robótica, autómata y la biónica, que anuncian como trompetas futuristas, la siguiente frontera quirúrgica; la cirugía robótica y la cirugía de telepresencia. Encontrará en estas líneas un bosquejo en grandes trazos del progreso de estas ideas hasta principios del año 2001, lo invito a viajar por este fascinante mundo.

## MAPA GENERAL

La novela "1984" escrita en 1950 por George Orwell, describe que en 1984 el mundo estaría controlado por computadoras, el escenario planteado equivale a una prisión abierta, con exceso de control de sus habitantes en todos los aspectos de la vida y esto en 1984 no fue real, o al menos en 1984 no teníamos conciencia de qué tan real era este control. En 1984 la informática empezaba a mostrar los inicios de una era dorada y en los laboratorios se gestaban las armas informáticas que hoy usamos cotidianamente y que fueron las bases de lo que conocimos a partir de 1985 como cirugía de mínima invasión, que hoy en el año 2000 recorre el mundo en franca expansión, para hablar sólo de nuestro terreno. El mismo año W Gibson, novelista de ciencia ficción, publicó la novela

Neuromante, en la que narra cómo vive la gente en un mundo de información, un mundo que todo controla la "matrix", la suma interconectada de todas las redes de computadoras del mundo **el ciberespacio**. Hoy en el año 2000 esto es una realidad que ya no impresiona a nadie, pues más de 50,000,000 de personas "viven" literalmente en el ciberespacio.

## PUNTOS DE INTERÉS HISTÓRICO

La cibernetica es la rama de la informática que digitaliza el movimiento. Sus tres áreas principales son la robótica, la biónica y la autómata. La cibernetica como ciencia formal fue iniciada por N Winer de EEUU en 1940, y la palabra acuñada por R Winer y A Rosenbluth en 1948, deriva del griego kubernetes y significa piloto o timonel, el que dirige. Los autómatas se conocen desde la primera centuria de nuestra era, cuando el sultán Harun Ar-Rashed le regala a Carlomagno un reloj animado. Golem es un monstruo robótico de la mitología judía. Jacques de Vaucanson 1709-1782 construye máquinas que imitan movimientos y exhibe en 1738 un pato mecánico que comía granos vegetales, aleteaba y graznaba y minutos después evacuaba una sustancia suave. Julio Verne escribe en 1800 sobre humanos artificiales.

La palabra robot se acuña en 1923 por Karol Kapek autor checoslovaco y en checo significa trabajador forzado, esclavo. Isaac Asimov escribe en 1940 sobre robots benevolentes y crea las leyes de la robótica. J Engelberger y GC Devol, físicos devotos de Asimov crean entre 1956 y 1970 la primera fábrica de robots y llegan a producir 4,500 robots industriales autómatas en 1 año. Koken, compañía japonesa de robots crea en 1980 un paciente robótico como auxiliar de enseñanza. En 1981 M Gordon de Miami crea a Harvey un robot que simula 26 enfermedades.

## PUNTOS DE INTERÉS

Hoy día una infinidad de aparatos industriales, domésticos y médicos, son autómatas o automáticos, mecánicos, manuales, eléctricos y electrónicos, así mismo se han creado ro-

\* Hospital Torre Médica México, D.F.

bots autómatas para una gran variedad de funciones. Son dispositivos que hacen una función mecánica y que al evolucionar a la par de la informática y conseguir digitalizar con mayor eficiencia los movimientos han conseguido crear además de robots autónomos, robots maestro-esclavo y dispositivos biónicos con la suficiente complejidad para digitalizar el movimiento de las manos de los cirujanos y convertirse en asistentes quirúrgicos y extensiones digitales de su cerebro y sus manos, que hoy nos permiten realizar casi toda una cirugía asistida por computadoras y robots con resultados equivalentes técnicamente pero con el plus que significa la digitalización del movimiento, edición, escala, equilibrio entre ambas manos, inmersión, navegación, ínter actuación en tiempo real, tercera dimensión real, realidad virtual, inteligencia artificial, robótica retroalimentación, miniaturización, etc. y es sólo el principio.

En 1991 R Taylor, TS Taylor, HA Paul y Bela Mussits de Sacramento, California inician un programa de aplicación dinámica de Robodoc, un robot que realiza en base a información de tomografía o resonancia magnética el canal para el implante de una prótesis de fémur. La contraparte para el manejo del acetábulo se llama Ortodoc y se desarrolla en 1994 por Antonio DiGoia, del Hospital Shadyside en la Universidad de Carnegie-Mellon en Pittsburg PA.

También en 1992, el Ing. biomecánico Philippe Green desarrolla el concepto de cirugía de telepresencia y el prototipo, sensores y efectores maestro-esclavo para realizarla. Casi simultáneamente el Dr. Stephen Jacobsen de la compañía Sarcos de Utah, desarrolla brazos y manos robóticas que imitan por control inalámbrico los movimientos humanos. Por su parte R Brooks y Anita Flynn del Instituto Tecnológico de Massachusetts son pioneros de microrrobótica médica y desde 1994 trabajan en microrrobots, cuyos modelos inalámbricos realizan colonoscopia experimental.

En agosto de 1993 en un hospital de La Jolla CA, el Dr. Jonathan Sackier utiliza en una colecistectomía laparoscópica el robot Esopo como auxiliar para conducir el laparoscopio, fue construido en conjunto con Yulun Wang en Goleta, CA.

La convergencia de los avances tecnológicos; la informática, las comunicaciones etc.,<sup>1-3</sup> con la medicina en general y la cirugía en particular ha dado como resultado un acelerado proceso de informatización de todas las áreas de la medicina.<sup>4,5</sup> En cirugía se le conoce como cirugía laparoscópica o cirugía de mínima invasión, que a partir de los trabajos del Dr. Kurt Semm desde los 70 y en 1985 con la realización de la primera colecistectomía por Erik Muhe en Bonn, Alemania, se originó una revolución en las formas de realizar técnicas quirúrgicas y que hoy incursionan en diversas especialidades. Las limitaciones de estas técnicas y sus resultados espectaculares han motivado una intensa investigación en todos los campos relacionados; así hemos sido testigos en los últi-

mos años del acelerado desarrollo de los sistemas de laparoscopia convencional,<sup>6</sup> a sistemas de tercera dimensión,<sup>7-13</sup> hasta el uso del robots<sup>14-23</sup> que auxilan a los médicos en ortopedia, urología o neurocirugía<sup>24,39</sup> a realizar intervenciones. Por otra parte la investigación aerospacial generó simuladores de vuelo con realidad virtual<sup>25-30</sup> desde los 60, esto estimuló la imaginación de diversos investigadores y nació la idea de tele presencia,<sup>31-33</sup> fase avanzada de la realidad virtual, que asociada al rápido desarrollo de la inteligencia artificial<sup>27</sup> y la cibernetica que con una de sus principales ramas a la cabeza; la robótica se vislumbra como el arma quirúrgica del siglo XXI.<sup>32-38</sup>

Investigaciones realizadas por el Ing. Philippe Green de SRI (Stanford Research Institute) y el Dr. Richard M Satava, cirujano del ejercito de los Estados Unidos, en 1992, a cargo de ABTP (Advanced Biomedical Technology Program), dependencia de investigación biomédica de ARPA ( Advanced Research Project Administration) en manipulación remota, con el objeto de realizar cirugía de emergencia en los campos de guerra, desde lugares seguros; dieron como resultado el primer prototipo para realizar telecirugía, cirugía de telepresencia o cirugía asistida por computadoras, fue conocido originalmente como sistema Green de telepresencia.<sup>31-33</sup> y con este prototipo se realizaron los primeros intentos de tele manipulación.<sup>17-24,33,37</sup>

## HECHOS DE ACTUALIDAD

Esto motivó investigación en diversos grupos de Italia,<sup>35</sup> Alemania,<sup>4</sup> España,<sup>35</sup> Canadá,<sup>36</sup> Japón, además de USA<sup>23,24</sup> ARPA y ABTP descartaron su uso en escenarios de guerra como MASH (Mobile Advanced Surgical Hospital) y licitaron los resultados de la investigación original (Licencia w# 952650). En 1995 se formó Intuitive Surgical Inc.<sup>40</sup> por el Dr. Frederick Moll en Mountain View, CA, habían adquirido los derechos de la investigación e iniciaron trabajos de adaptación y crecimiento de la idea y el 3 de marzo de 1997 se intervinieron los primeros 5 casos de cirugía laparoscópica en vivo por tele presencia a corta distancia, dentro del mismo quirófano; en el hospital St Blasius, en Dendermonde, Bélgica por los Dr. Jack Himpens, G Leman y G B Cadiere;<sup>41</sup> casos de colecistectomía laparoscópica, un tumor benigno de ovario y 2 fistulas arterio-venosas para hemodiálisis con éxito. De esta primera evaluación surgieron modificaciones importantes que cristalizaron en una segunda generación del sistema Green, ahora Intuitive; y con ésta se realizaron de marzo a mayo 98, 12 intervenciones más, 2 de funduplicación laparoscópica de Nissen, en el hospital Saint Pierre de Bruselas, Bélgica por el Dr. Guy Bernard Cadiere; 1 caso de comunicación interauricular, 6 plastias valvulares de corazón, 3 puentes mamaria-coronaria en los hospitales Broussais de París por los Drs. Alan Carpentier y Didier Loulmet; y Lei-

pzig Heart Center por los Drs Friedrich-Wilhelm Mohr, Randoyh Chitwood, Volkmar Falk y Anno Diegeler; esta experiencia fue presentada en el IV Congreso Mundial de Cirugía Endoscópica, en mayo 30 a junio 03, 1998 en Roma, Italia. El antecedente es la creación en 1993 de ESOPO, el primer robot de uso clínico en el mundo, diseñado como asistente del cirujano para conducir la cámara laparoscópica con muy buenos resultados; usado por primera vez en el mundo por el Dr. Jonathan Sackier en un hospital en La Jolla, CA. Los doctores Adrián Carbajal y Harry Miller lo emplearon en 50 cirugías en 1997 en México; el Dr. Miller intervino otros 50 casos los últimos meses del 99 y primeros del 2000. Esto generó la segunda fase de este desarrollo HERMES, un robot que obedece comandos de voz del cirujano y ZEUS, de Computer Motion, robot telemanipulador, con el cual, en junio-agosto 1998 operan un grupo piloto de 10 casos de plastia tubaria en la Cleveland Clinic los Drs. Antonio García Ruiz y Tomaso Falcone.<sup>4-8,14-23</sup> Japoneses con prototipos, italianos con el proyecto TAP (Telemedicine Advanced Project)<sup>35</sup> y alemanes con el proyecto ARTEMIS (Advanced Research Telemedicine Minimally Invasive Surgery)<sup>4</sup> han anunciado en televisión, radio y periódicos, experiencias iniciales de cirugía de telepresencia (Biopsias, punciones etc.) y diversas formas de telemedicina.<sup>42</sup>

Con estos antecedentes nace el proyecto D'Vinci, que se realizó de julio a octubre de 1998. Estudiamos 400 pacientes, seleccionamos 250 con problemas de litiasis biliar ( $n = 122$ ) y enfermedad por reflujo gastroesofágico ( $n = 128$ ). Se distribuyeron entre 4 equipos quirúrgicos, liderados por los Drs. Barry Gardiner, Alan White, Guy Bernard Cadiere, y Adrián Carbajal. Cada equipo realizó 62 cirugías en promedio, 50% con el sistema Intuitive de tele presencia y 50% con cirugía laparoscópica convencional. La clasificación, logística, la comparación entre cirugía asistida por robot y laparoscopia convencional, el análisis de morbilidad, un protocolo de anestesia y el seguimiento a 1, 3, 6, 12, 18 y 24 meses en un

estudio aleatorio, prospectivo y controlado concurrentemente, representan el cuerpo del primer estudio científico en el mundo que consiguió equivalencia estadística de resultados entre cirugía endoscópica robótica vs los estándares de calidad conseguidos hasta 1998 por la cirugía laparoscópica convencional. El día 11 de julio 2000 la FDA aprobó la utilización de esta tecnología en cirugía laparoscópica. Estamos en el proceso de seguimiento a 24 meses y los resultados definitivos en proceso de publicación.<sup>47</sup>

## LA SIGUIENTE FRONTERA

Paralelamente se ha investigado el papel que esta tecnología puede jugar en cirugía de puentes mamaria-coronaria y cirugía de válvulas cardíacas, los resultados del proyecto D'Vinci, más estos avances, han dado por resultado, que a la fecha, enero 2001 está en proceso un estudio prospectivo de cirugía robótica, en Francia y Alemania, con el sistema Intuitive; analizaremos los resultados de este proyecto en los siguientes años.

La miniaturización de la tecnología digitalizada llamada micro y nanotecnología, aunado a la cristalización de proyectos de cirugía de telepresencia, plantean las bases para el desarrollo de la micro y nanorrobótica, a principios del año 2001 existe la capacidad para realizar micro manipulación entre 10 y 150 micras. Paralelamente está en proceso el proyecto Genoma, este fantástico esfuerzo científico para conocer el contenido de la información genética de los seres humanos, del que se esperan los mejores resultados para el 2005.<sup>43-46</sup>

Con estas bases no resulta difícil trazar imaginariamente las líneas de desarrollo y hacerlas coincidir en alguno de los años de la siguiente década, para que éstas que hoy en el año 2001 evocamos como cirugía del futuro, las generaciones del tercer milenio, la nombren cirugía robótica, nanocirugía, nanopresencia o simplemente interfase quirúrgica digital.<sup>8,43-47</sup>

## REFERENCIAS

- Hoffman MH. *Medical education in the 90's: Developing network compatible instructional resources for UCSD'S curriculum. Proceedings of the first Medicine Meets Virtual Reality Conference*. 1992, Plastic Surgery Research Foundation. OCME, UCSD.
- Hoffmann HM, Irwin EA. *Incorporating advanced technology into the medical curriculum. Implications for students and organizational resources*. 18o Symposium on computer applications in medical care. 1994.
- Satava R, Morgan K, Sieburg HB, Mattheus R, Christensen JP. Interactive Technology and the new paradigm for healthcare. *IOS Press* 1995: 168-172.
- Satava RM. Telepresence surgery. *Cybersurgery: Advanced technologies for surgical practice*. Wiley-Liss, 1998.
- Satava MR. Medicine 2001. The King is dead. Interactive technology and the new paradigm for healthcare. *IOS Press and Ohmsha*, 1995.
- Boppart SA, Deutsch TF et al. Optical imaging technology in minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 1999; 13: 718-722.
- Carbajal RA. *Tecnocirugía: 2001*. Sepúlveda A, Lizana C, Tomo II. *Cirugía laparoscópica avanzada*. Ed. Videocirugía Ltda. Santiago, Chile, 1997.
- Carbajal RA. Interfase quirúrgica digital. *Galenos*, año 12 No. 57, México 1998.
- Carbajal RA. Bases físicas de la tercera dimensión en cirugía. *Galenos*, año 12, No. 59, México 1998.
- Wood R, Cochran W. Stereo endoscopy gives surgeons normal vision. *Photonic Spectra*. 1993.

11. Jones DB, Brewer JD et al. The influence of three-dimensional video systems on laparoscopic task performance. *Surg Laparosc & Endosc* 6: 191-197.
12. Bergen P Van, Kunert W, Bessell J, Buess GF. Comparative study of two-dimensional and three dimensional vision systems for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 1998; 12: 948-954.
13. Muller MD, Camartin C, Dreher E, Hanggi W. Three dimensional laparoscopy. Gadget or progress? *Surg Endosc* 1999; 13: 469-472.
14. Carbajal RA. Año 2001: Las fronteras en medicina. Heredia M, Bautista G, Fernández O. *Cirugía de invasión mínima para enfermeras y técnicos*. Intersistemas, México D.F. 1966.
15. Carbajal RA. *La cirugía en el tercer milenio*. Heredia M, Bautista G, Fernández O, Fuentes JL. Cirugía de invasión mínima. 2a ed. Intersistemas, México D.F. 1997.
16. Carbajal RA, Gutiérrez L, Núñez E. Equipo e instrumental en cirugía de invasión mínima. Cueto J, Weber A. *Cirugía laparoscópica* 2a ed. McGraw-Hill Interamericana, 1997.
17. Sackier MJ. Future horizons of minimally access surgery. *Problems in General Surgery* 1991; 8: 507-510.
18. Or Manager. *Robotic Assistant for Laparoscopic Surgery*. 10 (1): 1-3.
19. Sackier J. The next: wave in minimally invasive surgery: Robotics. *General surgery-Laparoscopic News*. 1994.
20. Satava RW. High Tech Surgery: Speculations on future directions. *Minimally Invasive Surgery*. Sackier J, Hunter J. McGraw-Hill, 1993: 339-347.
21. Sackier J. New technology and future directions in endoscopic surgery. *Surg Endosc* 1994; 8: 535.
22. Unger SW, Unger HM, Bass RT. AESOP Robotic arm. *Surg Endosc* 1994; 8: 1131.
23. Sackier JM, Wang Y. Robotically assisted laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 1994; 8: 63-66.
24. Lewis AM, Bekey GA. Automation and robotics in neurosurgery: Prospects and problems. Apuzzo M. Neurosurgery for the third millennium. *American Association of Neurological surgeons*, 1992.
25. Bronson R. Computer simulation. What it is and how it's done. *Byte*, 1984: 95-102.
26. Noard MD. Endoscopy Simulation: A new brave world? *Endoscopy* 1991; 23: 147-149.
27. Charnia KE, Mcdermot D. Artificial Intelligence. *Addison-Wesiley* 1986.
28. Stampe D, Roehl B, Eagan J. *Virtual Reality. Creations*. The Waite group 1993.
29. Satava RM. Virtual reality surgical simulation. The First Steps. *Surg Endosc* 1993; 7: 203-205.
30. Pimentel IK, Teixeira K. *Virtual Reality*. Intel, Windcrest, and McGraw-Hill, 1993.
31. Green SP, Hill JW, Gorfu Y, Jensen JF. Telepresence: Advance teleoperator technology for minimally invasive surgery. *Medicine Meets Virtual Reality* 1992: 28-30.
32. Satava R, Simon L. Endoscopy for the year 2000. *Gastrointest Endosc* 1994; 4: 10-866.
33. Schenker P, Kim WS, Bejczy A. Remote robotic operations at 3000 miles-Dexterous telemomanipulation with time-delay via calibrated virtual reality task display. *Medicine Meets Virtual Reality II* 1994: 27-30.
34. Jensen JF, Hill JW. Advanced telepresence surgery system development. Health care in the information age. *IOS Press and Ohmsha*, 1996.
35. Licini A, Lirici MM, Rovetta A. Telerobotics and minimal invasive surgery: Feasibility and present limits. *Surg Endosc* 1994; 8: 535.
36. Begin E, Gagner M et al. A robotic camera for laparoscopic surgery: Conception an experimental results. *Surg Laparosc & Endosc* 1995; 5: 6-11.
37. Schurr MO, Breitwieser H, Ing Melser A et al. Experimental telemomanipulation in endoscopic surgery. *Surg Laparosc & Endosc* 1996; 6: 167-175.
38. Jacobs LK, Shayani V, Sackier MJ. Determination of the learning curve of the AESOP robot. *Surg Endosc* 1997; 11: 54-55.
39. Kassell NF, Hunter J, Graves S. Telepresence in neurosurgery: The integrated remote neurosurgical system. Medicine meets virtual reality. *IOS Press*, 1997.
40. Cassak D. Has the real MIS revolution finally arrived? *In vivo. The bussines and medicine report* 1997: 49-60.
41. Himpens J, Lemon G, Cadiere GB. Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 1998: 12-1091.
42. Cubano M, Poulose BK, Talamini MA et al. Long distance telementoring. *Surg Endosc* 1999; 3: 673-678.
43. Drexler E. *La Nanotecnología*. Gedisa Editorial, 1993: 138-59.
44. Crandall BC. Nanotechnology. *The MIT PRESS* 1996: 1-46.
45. Lee T. *El proyecto genoma*. Gedisa Editorial, 1994: 183-206.
46. Schuler G et al. The human transcript map. *Science* 1996: 247-62.
47. Carbajal RA y cols. *Proyecto D'Vinci*. En prensa 1999.

**Correspondencia:**

**Dr. Adrián Carbajal**  
 José Ma. Iglesias 21  
 Col. Tabacalera 06030  
 México, D. F.  
 Tel. 5705-18-20

