

# GUANTE DE DATOS SENSORIZADO PARA USO EN CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA ASISTIDA POR LA MANO (HALS)

Lidia Santos, José L. González, Javier P. Turiel, Juan C. Fraile, Eusebio de la Fuente.  
ITAP - Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción, Universidad de Valladolid.  
lidia.santos@uva.es ; {jossan, turiel, jcfraile, efuente}@eii.uva.es

## Resumen

*La cirugía HALS (Hand Assisted Laparoscopic Surgery) se presenta como una opción intermedia entre la cirugía abierta, o laparotomía, y la cirugía laparoscópica estándar. Esta alternativa presenta ventajas de ambos tipos de cirugía: evitar grandes incisiones en el paciente y recuperar el sentido del tacto en la cirugía laparoscópica. Para mejorar las condiciones de realización de este tipo de cirugía proponemos el desarrollo de un guante quirúrgico inteligente que, dentro de un sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano, ayudará a proporcionar al cirujano una representación mediante realidad aumentada de la cavidad abdominal del paciente. Dicho guante será el encargado de enviar información al sistema robótico para evitar posibles colisiones y para que este pueda identificar la fase de la operación que se está realizando.*

**Palabras Clave:** HALS, robótica quirúrgica, guante de datos, cirugía laparoscópica asistida por la mano.

## 1 INTRODUCCIÓN

El campo de la robótica ha ido adentrándose en el de la cirugía laparoscópica para facilitar el trabajo del cirujano. Los primeros robots se desarrollaron para dar mayor estabilidad y precisión a los movimientos de los endoscopios o cualquier otra herramienta adicional y consistían en un brazo robótico simple y un endoscopio o una herramienta laparoscópica unida a él. [23, 8]. Desde entonces han ido evolucionando hasta robots asistentes semiautónomos que ayudan al cirujano en las diferentes fases de la operación. [3, 4]

El trabajo que se presenta en esta comunicación es el planteamiento preliminar de un proyecto que forma parte de un coordinado en el que se plantea el desarrollo de un sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano (figura 1). Dicho sistema robotizado se concibe como un robot colaborativo capaz de manejar una herramienta laparoscópica articulada y un endoscopio, y un sistema especializado en el movimiento de mini-

robots dentro de la cavidad abdominal (figura 2). A la par se incluirá un interfaz persona-máquina basado en un guante quirúrgico inteligente y la capacidad de emular el concepto de “abdomen transparente” mediante un entorno de realidad aumentada. El sistema reconocerá la fase actual de la intervención a partir de los gestos de la mano del cirujano, los movimientos realizados con los instrumentos o a través de lecturas de señales fisiológicas combinadas con un modelo paciente-intervención.

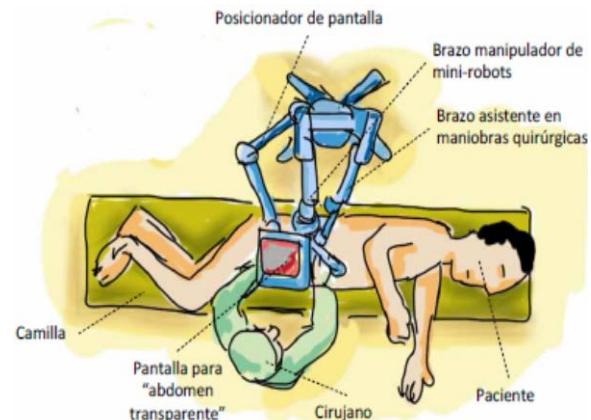


Figura 1: Posible configuración del sistema robotizado colaborativo para HALS. (Cortesía de Víctor Muñoz, Univ. de Málaga).

El planteamiento preliminar consiste en la utilización de un guante quirúrgico sensorizado que permita determinar la posición y orientación de los dedos del cirujano en el interior de la cavidad abdominal de un paciente en cirugía laparoscópica asistida por la mano (HALS), lo cual será utilizado para el reconocimiento de los gestos y la identificación automática de la actividad que está desarrollando el cirujano.

Se ha utilizado un guante comercial para la determinación de la posición de la mano. A partir de los datos obtenidos con el guante se genera un volumen aproximado de la mano, que va variando según la posición que adopte, para evitar posibles colisiones con los mini-robots colaborativos. Los datos de la posición de la mano proporcionados por el guante y los datos del volumen generado, se han

adaptado para la comunicación con el resto del sistema robotizado mediante ROS (*Robot Operating System*).

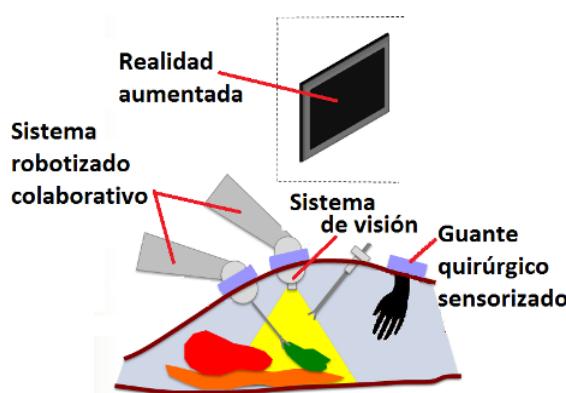


Figura 2: Representación de la cavidad abdominal con el sistema colaborativo sensorizado.

La localización de los dedos del cirujano se llevará a cabo con un sistema de visión y se fusionará la información obtenida por dicho sistema con la obtenida con el guante quirúrgico sensorizado (figura 3). El conocimiento de la localización de la mano durante la operación facilita la extracción de información sobre patrones de movimiento o posturas de la mano y la captura en tiempo real de su verdadero movimiento, que será utilizado en posteriores trabajos para el desarrollo del proyecto principal.



Figura 3: Escenario de trabajo basado en un entrenador quirúrgico (Karlz Storz E. I.).

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera: en el apartado 2 se describen los antecedentes y estado actual de la cirugía HALS y los guantes de datos; en el apartado 3 presentamos los resultados iniciales de la integración de un guante de datos comercial en nuestro sistema; en el apartado 4 se comentan las futuras líneas de trabajo y se exponen las conclusiones obtenidas.

## 2 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

### 2.1 CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA, CIRUGÍA HALS Y ROBÓTICA

Desde los comienzos de la aplicación de la cirugía HALS, a mediados de los años 90, se apreció, en los diferentes tipos de intervenciones en los que daba cabida su aplicación, la recuperación del sentido del tacto y las habilidades para suturar y diseccionar con la mano en lugar de con las herramientas de cirugía laparoscópica convencional [9].

La cirugía HALS se presentó como la opción intermedia entre la cirugía laparoscópica convencional y la cirugía abierta o laparotomía debido a que, comparándola con la cirugía abierta, presentaba una recuperación más rápida del paciente al tener incisiones de menor tamaño, al igual que pasaba con la cirugía laparoscópica estándar, y comparándola con la cirugía laparoscópica estándar, presentaba la ventaja de la introducción de la mano del cirujano dentro de la cavidad abdominal del paciente con lo que recuperaba el sentido del tacto y proporcionaba mayor rapidez a la hora de controlar sangrados y la posibilidad de realizar una retracción de órganos, al igual que pasaba con la cirugía abierta. [16, 17, 18, 22, 24, 5]

La tendencia en la cirugía laparoscópica es la reducción del número y tamaño de las incisiones ocasionadas en el paciente. Esta tendencia ha provocado la aparición de nuevas técnicas laparoscópicas (*Single Incisión Laparoscopic Surgery SILS* y *Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery NOTES*). Esto provoca que, en ciertas operaciones, se tenga que pasar de cirugía laparoscópica a cirugía abierta. HALS ofrece una solución intermedia. [1]

Actualmente la cirugía HALS se aplica en aquellas intervenciones en las que, debido a la naturaleza de la operación, no se sabe a priori si se va a tener que realizar una laparotomía una vez empezada la operación con cirugía laparoscópica. Es de especial utilidad en operaciones de esplenectomía (extirpación de bazo) y en colectomías (extirpaciones de colon). [21, 20, 15, 2, 13].

Se han desarrollado prototipos de manos robóticas para cirugía HALS [14], pero con ellas se pierden las ventajas de dicha cirugía frente a la cirugía laparoscópica convencional. Con el desarrollo de un guante quirúrgico inteligente, seguimos teniendo dichas ventajas y añadimos las concretas de la utilización de dicho guante como la obtención de información del interior de la cavidad abdominal del paciente, que engloba desde la posición y

localización de la mano hasta señales fisiológicas, y la posibilidad de enviar dicha información al sistema robotizado colaborativo para la asistencia durante la operación.

## 2.2 GUANTES DE DATOS (*DATA GLOVES*)

Por otro lado, el desarrollo de guantes de datos empezó hace unos 40 años. El primero en aparecer fue Sayre Glove en 1977 por Thomas de Fanti y Daniel Sandi. Basaba su tecnología en la fibra óptica para medir la flexión de los dedos ya que mediante la emisión de un haz de luz en un extremo y un sensor (diodo fotoeléctrico) podía detectar la intensidad de dicho haz en el otro extremo, que era diferente en función de la flexión y posición de los dedos [19].

Más tarde, en 1983, se patentó *Digital Entry Data Glove*, el primer guante que reconocía las posiciones de la mano con la intención de crear caracteres alfanuméricos y poder sustituir el teclado. [10,11]. Fue en 1987 cuando Tom Zimmerman desarrolló el primer guante de realidad virtual que se comercializó. [25].

En 1989 Mattel Intellivision comercializó *Power Glove* [11,8], que fue considerablemente más barato que *Data Glove* debido a que utiliza un material cuya resistencia eléctrica es variable (normalmente tinta de carbón) para medir la flexión de los dedos y unos trackers ultrasónicos que por triangulación permiten calcular la orientación de la mano. Son guantes de menor precisión que los citados anteriormente.

En 1995 *Super Glove* fue desarrollado y comercializado por Nissho Electronic [11]; poseía 10-16 sensores y usaba tinta resistiva impresa en los dobleces cosidos en la tela del guante. *Cyberglove* (Immerson Co.) [26, 11, 12] utiliza pequeños sensores magnéticos que se sitúan en las articulaciones de los dedos y permiten medir la distancia entre ellos.

La evolución de los guantes de datos ha permitido que se puedan utilizar en diferentes campos que abarcan desde las aplicaciones clásicas como entendimiento del lenguaje de signos, el entretenimiento, la visualización de la información y el diseño, hasta recientes campos como la medicina. [6]. En este último campo se empezaron a utilizar como ayuda en la rehabilitación de pacientes, ya que permiten hacer un seguimiento preciso de la recuperación del sujeto debido a que daban medidas más fiables que los goniómetros utilizados hasta entonces y eran más sencillos de utilizar. También se han utilizado para crear entornos de realidad virtual que permiten a los cirujanos experimentar en pacientes virtuales para entrenarse antes de las operaciones con pacientes reales.

## 3 INTEGRACIÓN DE UN GUANTE DE DATOS SENSORIZADO

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL GUANTE COMERCIAL

Para los primeros trabajos hacia el desarrollo de un guante quirúrgico inteligente hemos utilizado un guante 5DT 14 Ultra USB (figura 4). El guante está compuesto por lycra elástica y 14 sensores flexibles, basados en fibra óptica, con una resolución de 12bits A/D (rango típico de 10bits).

Hay dos sensores por dedo: uno para medir la flexión en los nudillos y otro en la primera articulación. También hay uno en la unión de los dedos entre sí. La lectura de los datos proporcionados por los sensores se realiza a una frecuencia de muestreo de hasta 75Hz.

El guante también viene provisto con una conexión USB para el ordenador, eliminando así fuentes de alimentación externas.

Aunque es compatible con Windows, se ha desarrollado el proyecto en Ubuntu 12.04. para poder enviar los datos obtenidos con el guante al sistema colaborativo robotizado mediante ROS y tener la posibilidad de integrarlo fácilmente en el entorno de realidad aumentada.



Figura 4: 5DT 14 Ultra USB. Imagen cortesía de [www.5dt.com](http://www.5dt.com)

### 3.2 POSICIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS DEDOS

Llamamos “posición de los dedos” a la postura que adoptan en cada momento, es decir al grado de flexión de cada falange y la separación de cada dedo con los contiguos. El conocimiento de la posición de los dedos del cirujano en tiempo real durante la intervención es fundamental para implementar ciertas estrategias de control en un sistema que incorpora un asistente robotizado y, en particular, ayuda a

identificar la fase de la operación que se está llevando a cabo. Será el guante quirúrgico sensorizado el encargado de enviar la posición que adopte la mano del cirujano al sistema robotizado colaborativo para que pueda proceder a la identificación de la fase de la operación que se está realizando, pudiendo así colaborar en la operación con lo necesario.

Para llevar a cabo la determinación de la posición de los dedos del cirujano trabajamos con un guante 5DT 14 Ultra USB que posee 14 sensores flexibles situados en la primera falange de cada dedo, en cada nudillo y entre cada dedo y sus contiguos. Dichos sensores nos proporcionarán el grado de flexión de las falanges y el grado de separación entre los dedos, mediante sendas variables cuyos valores se encuentran en el rango entre 0 y 1. Con estos datos, se consigue definir las posiciones relevantes que se pueden realizar con la mano en una intervención quirúrgica HALS. La elección de este tipo de guante se debe, asimismo, a que no aumenta mucho el volumen de la mano del cirujano para poder introducirlo a través del puerto único para HALS, evitando así que la incisión tenga que ser mayor.

Llamamos “localización de los dedos” al lugar donde se encuentran los dedos, es decir a las coordenadas con relación al sistema de referencia que elijamos. La localización de los dedos del cirujano ayuda a evitar colisiones con las herramientas y con futuros dispositivos robóticos que pudiesen utilizarse.

Para llevar a cabo esta localización se necesita un sistema de referencia y las dimensiones de la mano. Los datos de posición, localización y medidas de la mano se obtendrán mediante un sistema de visión cuyo elemento principal es una cámara cenital colocada en la zona más elevada de la cavidad abdominal, lo cual proporciona más datos que los obtenidos mediante cámaras utilizadas convencionalmente en cirugía laparoscópica.

La combinación de los datos de la localización y la posición de los dedos obtenidos mediante el guante y el sistema de visión, proporcionan las medidas necesarias para representar la mano del cirujano en un interfaz gráfico, que junto con las imágenes de la cavidad abdominal adquiridas mediante la cámara cenital y los datos obtenidos con los sensores incluidos en el guante quirúrgico inteligente, proporcionan los elementos necesarios para desarrollar una realidad aumentada que facilita al cirujano una nueva y mejorada perspectiva en la operación, lo que le permite tener un mayor control del entorno dentro de la cavidad abdominal.

### 3.3 VOLUMEN APROXIMADO DE LA MANO DEL CIRUJANO

A la hora de determinar el volumen se ha tenido en cuenta que la aproximación varía según la posición que adopte la mano. Así pues, se ha determinado que cuando la mano está con todos los dedos estirados, se aproxima al volumen de un paralelepípedo cuyo lado mayor vendrá determinado por la distancia desde la muñeca hasta la punta del dedo medio, y el lado menor por la distancia entre la punta del dedo pulgar y el dedo meñique (figura 5). Cuando alguno de los dedos se flexiona lo suficiente, el volumen se aproxima a una semiesfera cuyo radio vendrá dado por la distancia que hay desde los nudillos hasta la punta del dedo medio (figura 6). Esta sería una aproximación burda pero efectiva para el tratamiento en tiempo real de los datos.

Para determinar el grado de flexión necesario para elegir un volumen u otro, se parte de los datos que proporciona el guante quirúrgico inteligente sobre la posición de los dedos.

Una vez determinado el volumen aproximado de la mano, se envía mediante ROS al sistema robotizado colaborativo para que considere una zona de seguridad, a la que los diferentes robots y herramientas laparoscópicas no podrían acceder para evitar colisiones con la mano del cirujano durante la operación.



Figura 5: Representación del volumen a generar con los dedos extendidos.



Figura 6: Representación del volumen a generar con algún dedo flexionado.

### 3.4 INTEGRACIÓN DEL GUANTE EN EL SISTEMA QUIRÚRGICO ROBOTIZADO COLABORATIVO

Una vez obtenidos la posición, localización y volumen de la mano mediante el guante quirúrgico sensorizado y el sistema de visión, se han de integrar dichos datos en el sistema robotizado colaborativo para que se puedan utilizar donde corresponda. Dichos datos se utilizarán tanto para evitar colisiones con los mini-robots y herramientas laparoscópicas, como para generar un entorno de realidad aumentada con los datos de la cavidad abdominal del paciente y la mano del cirujano.

Para conseguir la integración de los datos, se ha utilizado ROS (*Robot Operating System*) ya que permite que los datos estén disponibles a la espera de que diferentes componentes del sistema puedan utilizarlos conjunta o individualmente (figura 7).



Figura 7: Representación de la comunicación.

En este planteamiento preliminar se ha integrado un interfaz gráfico, Gazebo, para la representación de las diferentes posiciones que pueda adoptar la mano en cada momento (figura 8).



Figura 8: Guante con interfaz gráfico en diferentes posturas.

### 4 CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE TRABAJO

La utilización de guantes quirúrgicos sensorizados en cirugía HALS proporciona al cirujano información adicional de los tejidos y órganos del interior de la cavidad abdominal y datos sobre la situación de la mano con relación a otros elementos.

Al tener la posición y localización de la mano, el cirujano tendría la misma información que en una cirugía abierta, al poder representarla en un interfaz con realidad aumentada que simularía la cavidad abdominal del paciente.

El envío de información a los robots colaborativos evitaría colisiones y proporcionaría información necesaria para la identificación de la fase de la operación, pudiendo así el robot trabajar en la operación en modo “co-worker”.

Como se menciona en la introducción, este es el planteamiento preliminar de un proyecto que forma parte de un coordinado de mayor envergadura en el que se plantea el desarrollo de un sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano.

En este trabajo preliminar se ha solventado el problema de la determinación de los datos correspondientes a la posición de la mano del cirujano, la determinación de un volumen aproximado de dicha mano y la integración de dichos datos en el sistema robotizado colaborativo. Esto será la base para el reconocimiento de gestos y, con ello, el reconocimiento de la fase de la operación que se esté llevando a cabo para la posterior elección, por parte del sistema robotizado, de la acción pertinente. También es la base para representar una realidad aumentada formada por la cavidad abdominal del paciente y la mano del cirujano.

Los resultados obtenidos en esta primera etapa son razonablemente satisfactorios con relación a los objetivos planteados. Para conseguirlos, será necesario integrar un sistema de visión que fusione los datos junto con los obtenidos con el guante quirúrgico inteligente, desarrollar la incorporación de diferentes sensores en el guante para permitir la obtención de información de la cavidad abdominal (presión, temperatura,...) y la integración de estos desarrollos con el resto de la plataforma.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, a través del proyecto: Sensorized HALS. Entorno sensorizado para cirugía

laparoscópica asistida por la mano. Subproyecto dentro del proyecto coordinado "Sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano". DPI2013-47196-C3-3-R.

Para la realización de este proyecto, Karlz Storz Endoscopia Ibérica ha cedido un entorno de entrenamiento quirúrgico que incluye un *Laparoscopic Trainer*, un sistema *Tele pack X* con *Telecam camera Head PAL* y varias ópticas.

## Referencias

- [1] Anderson, J., Luchtefeld, M., Dujovny, N., Hoedema, R., Kim, D., Butcher, J., (2007) "A comparison of laparoscopic, hand-assist and open sigmoid resection in the treatment of diverticular disease", *American Journal of Surgery*, 193:3, Marzo 2007, pp. 400-403.
- [2] Barbaros, U., Dinçağ, A., Sümer, A., Vecchio, R., Rusello, D., Randazzo, V., Issever, H., Avci, C., (2010) "Prospective randomized comparison of clinical results between hand-assisted laparoscopic and open splenectomies", *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 24:1, Enero 2010, pp 25-32.
- [3] Bauzano, E., (2013) "A minimally invasive surgery robotic assistant for HALS-SILS techniques", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 112:2, November 2013, pp. 272-283.
- [4] Bauzano, E., Garcia-Morales, I., del Saz-Orozco, P., Fraile, J.C., Muñoz, V.F., (2014) "Robot collaborative assistance for suture procedures via minimally invasive surgery", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 252, 2014, pp. 255-269.
- [5] Darzi, A., Jakimowicz, J., Cohen, R., Fleshman, J., Brinbaum, E., Davis, C., Medich, D., Himpens, J.M., Litwin, D.E.M., Kelly, J.J., Kercher, K.W., Marvik, R., (2000) "Hand-assisted laparoscopic surgery vs standard laparoscopic surgery for colorectal disease: A prospective randomized trial", *Surgical Endoscopy*, 14:10, 2000, pp. 896-901.
- [6] Dipietro, L., Sabatini, A.M., Dario, P. (2008) "A survey of glove-based systems and their applications", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 38:4, pp 461-482.
- [7] Funda, J., Gruben, K., Eldridge, B., Gomory, S., Taylor, R, (1995) "Control and evaluation of a 7-axis surgical robot for laparoscopy", *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Volume 2, 1995, pp. 1477-1484.
- [8] Gardner, D.L., (1989) "The Power Glove," *Des. News*, vol. 45, pp. 63–68.
- [9] Gorey, T.F., Tierney, S., Buckley, D., O'Riordain, M., Fitzpatrick, J.M., (1996) "Video-assisted Nissen's fundoplication using a hand-access port", *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, 5 (4), pp. 364-366.
- [10] Grimes, G., (1983) "Digital data entry glove interface device" U.S. Patent 4 414 537, AT&T Bell Lab., Murray Hill, NJ.
- [11] LaViola, J.J. (1999) "A survey of hand posture and gesture recognition techniques and technology" Brown Univ., Providence, RI, Tech. Rep. CS-99-11.
- [12] Mulder, A., Fels, S., (1998) "Sound sculpting: Manipulating sound through virtual sculpting", *Proc. Western Comput. Graph. Symp*, pp. 15–23.
- [13] Nakajima, K., Lee, S.W., Cocilovo, C., Foglia, C., Sonoda, T., Milsom, J.W., (2004) "Laparoscopic total colectomy: Hand-assisted vs standard technique", *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 18:4, Abril 2004, pp. 582-586.
- [14] Oshima, R., Takayama, T., Omata, T., Kojima, K., Takase, K., Tanaka, N., (2009) "Assemblable three-fingered nine-degree of freedom hand for laparoscopic surgery", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IROS 2009, 11 Diciembre 2009, Artículo número 5354545, pp 5528-5533.
- [15] Pietrabissa, A., Morelli, L., Peri, A., Pugliese, L., Zonta, S., Dionigi, P., Mosca, F., (2011) "Laparoscopic treatment of splenomegaly: A case for hand-assisted laparoscopic surgery", *Archives of Surgery*, 146:7, Julio 2011, pp 818-823.
- [16] Ringley, C., Lee, Y.K., Iqbal, A., Bocharev, V., Sasson, A., McBride, C.L., Thompson, J.S., Vitamvas, M.L., Oleynikov, D., (2007) "Comparison of conventional laparoscopic and hand-assisted oncologic segmental colonic resection", *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 21:12, December 2007, pp. 2137-2141.

- [17] Schadde, E., Smith, D., Alkoraishi, A.S., Begos, D.G., (2006) “Hand-assisted laparoscopic colorectal surgery (HALS) at a community hospital: A prospective analysis of 104 consecutive cases”, *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 20:7, Julio 2006, pp. 1077-1082.
- [18] Spannuth, W.A., Rocconi, R.P. , Huh, W.K., Straughn Jr., J.M., Barnes III, M.N., (2005) “A comparison of hand-assisted laparoscopy and conventional laparotomy for the surgical evaluation of pelvic masses”, *Gynecologic Oncology*, 99:2, Noviembre 2005, pp. 443-446.
- [19] Sturman, D. J., Zeltzer, D., (1994) “A survey of glove-based input”, *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 14:1, pp. 30-39.
- [20] Swanson, T.W., Meneghetti, A.T., Sampath, S., Connors, J.M., Panton, O.N.M., (2011) “Hand-assisted laparoscopic splenectomy versus open splenectomy for massive splenomegaly: 20-Year experience at a Canadian centre”, *Canadian Journal of Surgery*, 54:3, June 2011, pp 189-193.
- [21] Targarona, E.M., Gracia, E., Garriga, J., Martínez-Bru, C., Cortés, M., Boluda, R., Lerma, L., Trías, M., (2002) “Prospective randomized trial comparing conventional laparoscopic colectomy with hand-assisted laparoscopic colectomy: Applicability, immediate clinical outcome, inflammatory response, and cost”, *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16:2, 2002, pp. 234-239.
- [22] Targarona, E.M., Garcia, E., Rodriguez, M., Cerdán, G., Balagué, C., Garriga, J., Trias, M., (2003) “Hand-assisted laparoscopic surgery”, *Archives of Surgery*, 138:2, 1 Febrero 2003, pp. 133-141.
- [23] Taylor, R.H., Funda, J., Eldridge, B., Gomory, S., Gruben, K., LaRose, D., Talamini, M., Kavoussi, L., Anderson, J., (1995) “A telerobotic assistant for laparoscopic surgery”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 14:3, 1995, pp. 279-288.
- [24] Watanabe, K., Funayama, Y., Fukushima, K., Shibata, C., Takahashi, K.-I., Sasaki, I., (2009) “Hand-assisted laparoscopic vs. open subtotal colectomy for severe ulcerative colitis”, *Diseases of the Colon and Rectum*, 52:4, Abril 2009, pp. 640-645.
- [25] Zimmerman, T.G. (1982) “Optical flex sensor”, U.S. Patent 4 542 291.
- [26] Disponible en: <http://www.immersion.com>. (Mayo 2015).