

# Diseño de prototipo de simulador para entrenamiento en cirugía laparoscópica

Javier García Murillo, Mauricio Arias Correa, Édison Valencia Díaz<sup>¶</sup>

*Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica EIA-CES (GIBEC)  
Línea de Óptica Biomédica. Programa de Ingeniería Biomédica  
Escuela de Ingeniería de Antioquia-Universidad CES*

---

**Resumen**—Las restricciones éticas impuestas al entrenamiento en cirugía laparoscópica en seres humanos y animales han impulsado la tendencia a utilizar, con mayor frecuencia, dispositivos de simulación. Los simuladores comerciales en cirugía laparoscópica, disponibles en el mercado, pueden mejorarse en virtud de la necesidad específica de los profesionales. La línea de simuladores biomecátrónicos del grupo de investigación en ingeniería biomédica GIBEC, ha desarrollado varios prototipos de simulación para cirugía laparoscópica, los cuales han evolucionado con base en las recomendaciones de los profesionales de la salud de la Universidad CES. En este artículo se presenta un resumen de cómo se han construido las bases de esta línea y cómo se han observado las necesidades que la escuela de medicina tiene para el desarrollo de simuladores, en donde la ingeniería juega un papel protagónico.

**Palabras clave**—Cirugía laparoscópica, Cirugía mínimamente invasiva, Educación médica basada en simulación, Simulador de laparoscopia.

**Abstract**—The ethical constraints imposed on the training in laparoscopic surgery in humans and animals have led to the increasingly common trend of using simulation devices. Commercially available simulators for laparoscopic surgery can be improved if tailored to the specific needs of professionals. The line of Biomechatronics Simulators of the biomedical engineering research group GIBEC, has developed several prototypes of simulation for laparoscopic surgery, which have evolved based on the recommendations from health professionals at the CES University. The results presented here demonstrate the group's progress in developing those devices.

**Keywords**—Laparoscopic surgery, Laparoscopy simulator, Minimally invasive surgery, Simulation based medical education.

---

## I. INTRODUCCIÓN

Las cirugías intra-abdominales, se pueden realizar en seres humanos y en animales por medio de técnicas tales como la cirugía abierta y la cirugía laparoscópica. Mientras que en la cirugía abierta se deben realizar incisiones que permitan la perfecta visualización y manipulación tanto de órganos como tejidos, con percepción real de la profundidad y de las fuerzas aplicadas [1], en la cirugía laparoscópica (*cirugía mínimamente invasiva* o MIS, *Minimal Invasive Surgery*, por sus siglas en inglés), se realizan pequeñas incisiones para introducir una cámara y herramientas quirúrgicas. Debido a que el cirujano debe manipular dichas herramientas, guiado por las imágenes que la cámara envía a un monitor. La percepción de la profundidad y de las fuerzas aplicadas, son limitadas en la cirugía laparoscópica [2,3]. De ahí que para que un cirujano desarrolle las destrezas y habilidades necesarias para realizar cirugías MIS, se requiere de un adecuado entrenamiento previo. En este artículo presentamos un resumen del desarrollo de simuladores para entrenamiento de

<sup>¶</sup> Dirección de correspondencia: pfevalencia@eia.edu.co

cirugía laparoscopia en el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica EIA-CES (GIBEC) y el cómo se han tomado estas experiencias para desarrollar un modelo simple y económico que logre desarrollar destrezas motoras y habilidades mentales en los estudiantes de este tipo de cirugía. Se presenta un producto inicial y se deja planteada la plataforma para experimentar el grado de desarrollo de dichas destrezas y habilidades.

### *1.1 Entrenamiento basado en simulación*

Tradicionalmente el entrenamiento en cirugía se ha llevado a cabo por el método maestro-aprendiz, de tal manera que los residentes acompañan a los especialistas en el desarrollo de sus intervenciones. Sin embargo la participación de los cirujanos en formación es limitada debido a que para los administradores hospitalarios los residentes pueden intervenir siempre y cuando la cirugía se realice de manera segura, eficiente y sin complicaciones. En este orden de ideas, los pacientes se convierten en herramientas de aprendizaje y se corre el riesgo de cometer errores en la mesa de operaciones, que económicamente serían insostenibles para los responsables y no justificables dentro de un proceso de formación [4,5].

Los errores médicos se pueden definir como aquellos incidentes en los cuales una acción planeada, que apunta a brindar bienestar al paciente, falla en su objetivo. Entre los errores en cirugía más comunes —en términos generales— se incluyen lesiones quirúrgicas, cirugías en partes no afectadas u órganos sanos, identidad errada de los pacientes a intervenir y muertes en el quirófano debido a fallas en los procedimientos [6].

La prevención total de los errores, sin embargo, no es factible porque la medicina es conducida por seres humanos. Pero se puede acudir a la educación médica basada en simulación para superar los problemas asociados a los errores procedimentales y entrenar con mayor constancia y énfasis a los futuros cirujanos.

La educación médica basada en simulación (SBME, por sus siglas en inglés), en su más amplio sentido puede ser definida como cualquier actividad educacional que utilice ayudas de simulación para replicar escenarios clínicos. Las herramientas de simulación sirven como una alternativa al paciente real y permiten que los educadores ganen un control total sobre un escenario clínico pre-seleccionado, sin tener que enfrentar los aspectos indeseados del aprendizaje en pacientes reales [14].

Al utilizar simuladores para entrenar a los médicos, se crean condiciones en las cuales cometer errores no es perjudicial o peligroso para los pacientes, lo cual proporciona la oportunidad de practicar y recibir realimentación constructiva que permitirá evitar que se cometan errores al intervenir a pacientes reales.

En síntesis, el entrenamiento basado en simulación presenta las siguientes ventajas [4-7]:

- Por medio de la simulación, se reduce el tiempo de aprendizaje de los estudiantes de cirugías tipo MIS, puesto que no es necesario esperar a que se presente un paciente que requiera intervención, para adquirir los conocimientos prácticos de la técnica.
- Por medio del uso de un simulador muchos médicos pueden aprender un procedimiento específico y de rara ocurrencia.
- Varios residentes pueden participar en operaciones y complicaciones específicas de los pacientes; adicionalmente pueden compartir y observar el manejo de eventos inesperados.
- Los médicos experimentados pueden ensayar procedimientos que no hayan realizado recientemente. Además pueden aprender nuevos procedimientos que han sido desarrollados desde que terminaron su residencia.
- Proporciona a los estudiantes y a los profesionales una oportunidad de aprender a través de sus propios errores y los errores de otros.

Con la implementación de simuladores para el entrenamiento en la técnica de cirugía laparoscópica, se acudirá en menor porcentaje a los seres humanos y animales como herramientas de enseñanza. El aprendizaje se realizará en el simulador.

### *1.2 Simuladores de laparoscopia*

Un simulador de procedimientos quirúrgicos laparoscópicos se puede definir como un dispositivo que permite reproducir diferentes actividades propias de las cirugías laparoscópicas, cuyo objetivo principal es propiciar la adquisición de destrezas en la ubicación espacial y temporal, manejo de instrumentos quirúrgicos, procedimientos tales como suturas, transporte y corte de estructuras internas, entre otras [8].

Entre las universidades que han implementado simuladores de cirugía laparoscópica en cursos de medicina, veterinaria y especializaciones en cirugía MIS, se encuentra el Hospital Universitario de Sant Joan, de la Universidad Rovira i Virgili, en Tarragona (España). Allí se implementó un simulador de bajo costo para entrenar habilidades básicas en laparoscopia, cuyo principal objetivo era observar si el entrenamiento con un sistema de vídeo-trainer y con una cámara de bajo costo era efectivo para el aprendizaje de dicha técnica [9]. Las generalidades del sistema, se pueden apreciar en la Fig. 1.

En el Servicio de Cirugía del Hospital General de Puebla “Eduardo Vázquez Navarro”, especialistas en ingeniería biomédica y otras áreas de la salud, diseñaron un maniquí en fibra de vidrio con la forma de un torso humano, con tres orificios en la pared anterior (dos puertos para instrumentos y uno para la unidad de video). En la Fig. 2, se puede apreciar la imagen transmitida a un televisor después de haber sido adquirida por medio de la cámara. El interior del maniquí es hueco para colocar objetos que permitan realizar ejercicios con pinzas, porta agujas, tijeras, baja nudos y otros [10].

El Simulap® (Tecnología Médica de Puebla, S. A. de C. V.), es un simulador comercial que según pruebas realizadas, permite reducir el tiempo de ejecución de los ejercicios de entrenamiento realizados por los cirujanos más del 30%, lo cual indica su utilidad como herramienta de aprendizaje. El dispositivo permite registrar en video las prácticas realizadas, se puede conectar a cualquier televisor, es de fácil transportar y tiene bajo costo de mantenimiento.

En el Catharina Hospital (Eindhoven), se desarrolló la plataforma de laparoscopia Xitact LS500, que sirve para capacitación modular por medio de realidad virtual. Esta plataforma combina objetos físicos que contienen el hardware mecánico (por ejemplo el abdomen virtual), conectados a una computadora que proporciona la escenografía virtual y la realimentación háptica [11].

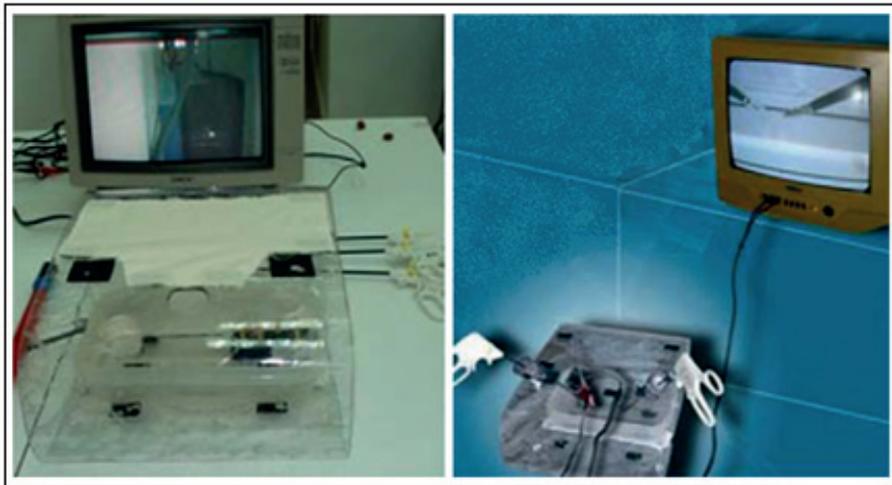


Fig. 1. Simulador en el Hospital Universitario de Sant Joan [9].

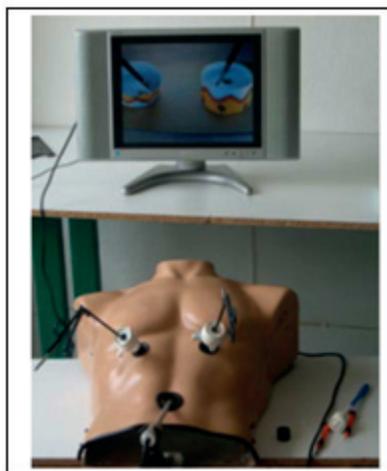


Fig. 2. Simulador del Hospital General de Puebla [10].

En este artículo se presentan los resultados de la evaluación de desempeño de un prototipo de simulador para entrenamiento en cirugía laparoscópica. En el capítulo II, se describen las características de un prototipo inicial y las características de un segundo prototipo, mejorado con respecto al primero. En el capítulo III, el análisis de la evaluación del segundo prototipo, permite definir requerimientos de diseño para un tercer prototipo. Finalmente se presentan los objetivos de trabajos futuros y una discusión con respecto a los beneficios del desarrollo de este tipo de simuladores.

## II. PROTOTIPO DE SIMULADOR PARA LAPAROSCOPIA.

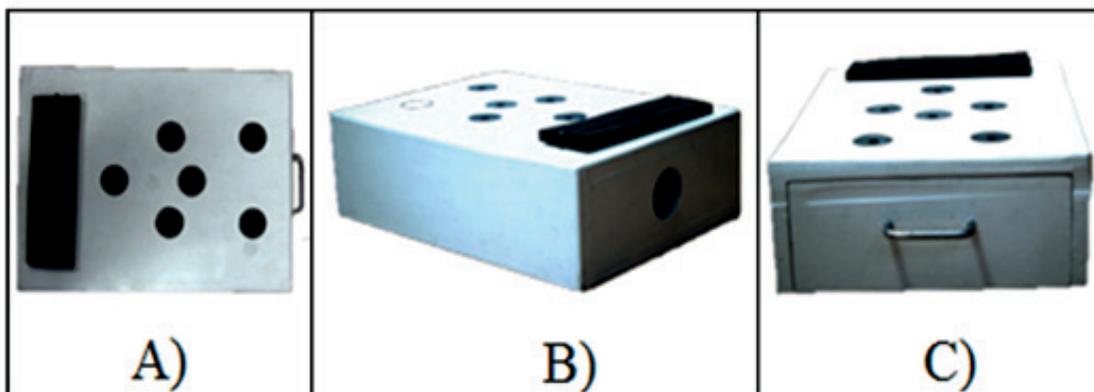
Durante el segundo semestre de 2010, un grupo de estudiantes del programa de Ingeniería Biomédica de la Escuela de Ingeniería de Antioquia y la Universidad CES, desarrolló el prototipo de un simulador de laparoscopia.

El dispositivo estaba constituido por un contenedor fabricado en madera, para reducir peso, gastos y simplificar el proceso de manufactura, con perforaciones distribuidas como se aprecia en la Fig. 3.

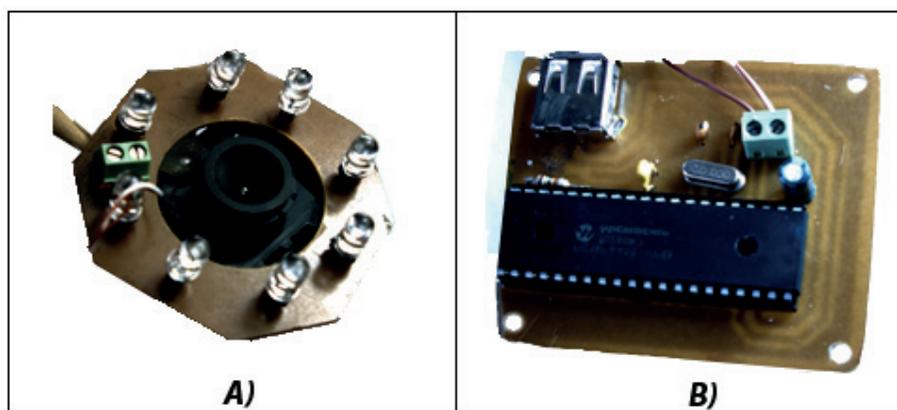
Dicho contenedor permitía almacenar dispositivos manipulables para ejecutar actividades similares a las que se realizan en las intervenciones laparoscópicas. Al contenedor se le podían integrar una cámara web, un dispositivo de iluminación en anillo y una tarjeta electrónica para el control de iluminación, Fig. 4.

Este primer dispositivo permitía al usuario interactuar por medio de los instrumentos laparoscópicos con una región visualizada a través de la cámara. Si el usuario intervenía una región no válida del total de área que estaba habilitada para intervenir, entonces el dispositivo generaba una señal de error, indicando que se había lesionado un “órgano vital”.

El prototipo fue presentado a un grupo de médicos veterinarios de la Universidad CES, en febrero de 2011. Sus conclusiones resaltaron la ventaja de realizar prácticas en cualquier lugar y momento para mejorar las habilidades y destrezas que se requieren en los cirujanos. Las recomendaciones, por otro lado, develaron la necesidad de mejorar



**Fig. 3.** A) Disposición de agujeros y ranura para posicionar la cámara en el contenedor, B) Agujero lateral para conexiones y C) Compuerta lateral para inserción de actividades.



**Fig. 4.** A) Cámara web con iluminación, B) Circuito controlador de iluminación.

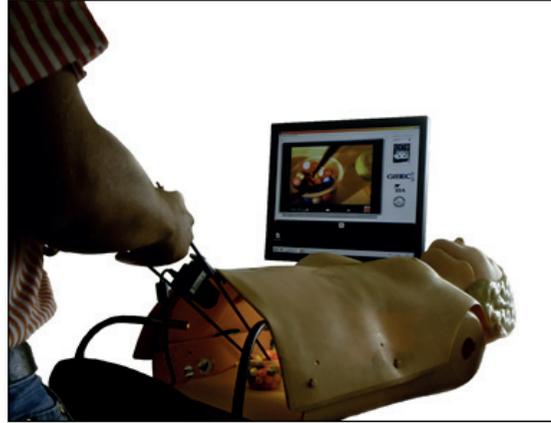


Fig. 5. Segundo prototipo de simulador de laparoscopia, desarrollado por GIBEC.

el sistema de iluminación, la calidad de las imágenes adquiridas por video y sincronización entre las imágenes adquiridas y los movimientos realizados con los instrumentos en el interior del contenedor (imágenes en “tiempo real”). Adicionalmente a ello, se evidenció la necesidad de incrementar el espacio de manipulación de las herramientas.

Un segundo prototipo, cuyo desarrollo tuvo en cuenta las recomendaciones hechas por los médicos veterinarios al prototipo inicial, se diseñó y construyó durante el primer semestre de 2011.

Como estructura se implementó un maniquí de simulación de reanimación cardiopulmonar (RCP), proporcionado por la Universidad CES. El maniquí se adaptó como simulador de laparoscopia, incorporándole una cámara CCD a color con transmisión de datos por interfaz USB. La iluminación externa a la estructura se aportó por medio de una bombilla de tungsteno halógena (con temperatura de color 3250 K). En la Fig. 5, se puede apreciar el resultado de este segundo prototipo, en funcionamiento, con la realimentación visual adquirida por la cámara y presentada al usuario a través de una pantalla.

El segundo prototipo de simulador fue utilizado en el primer semestre de 2011, en la evaluación final de los candidatos al Postgrado de Clínica en Cirugía Laparoscópica Avanzada de la Universidad CES, como parte de las pruebas de habilidades de ubicación espacial y destrezas con el instrumental laparoscópico. Las sesiones fueron grabadas, lo cual permitió que los evaluadores tuvieran la oportunidad de observar, posteriormente, el desempeño de cada uno de los evaluados sin conocer su identidad. Esta modalidad de evaluación aportó objetividad en la calificación y permitió seleccionar a los candidatos con mejor desempeño para una etapa posterior de formación.

Como sucedió con el primer prototipo, se recogieron las sugerencias de los médicos expertos en cirugía laparoscópica para mejorar las características del prototipo con miras a su posterior implementación como herramienta de prácticas de laboratorio.

Con respecto a la iluminación, se estableció que el tono amarillento afectaba el color de las imágenes obtenidas en pantalla y por tanto reducía la fidelidad de los colores de los elementos que hacían parte de las escenas.

Se develaron problemas de sincronización, entre las imágenes adquiridas por la cámara y la visualización de las mismas en la pantalla.

Debido a la iluminación, el contraste de las imágenes era de baja calidad y no permitía identificar adecuadamente las características de los diferentes instrumentos.

### III. ANÁLISIS DE EVALUACIÓN

El segundo prototipo ha sido mejorado entre el primer semestre y el segundo de 2011 y se ha presentado en eventos con aspirantes al programa de Ingeniería Biomédica. El conocimiento y manipulación de esta herramienta, es para los aspirantes una introducción al mundo de la aplicación de la tecnología para la creación de herramientas que benefician las prácticas en las áreas de la salud. En la Fig. 6, se puede apreciar a los estudiantes manipulando el simulador, en un evento realizado por la Universidad CES.



**Fig. 6.** Aspirantes al pregrado de Ingeniería Biomédica manipulando el prototipo de simulador.

El simulador como herramienta tuvo gran acogida por parte de los estudiantes de cirugía —que fueron evaluados por medio del simulador— y los cirujanos expertos. Con base en sus sugerencias, se realizaron pruebas para encontrar la iluminación adecuada, la frecuencia de adquisición de las imágenes y contraste adecuado.

Las pruebas determinaron que la iluminación debe ser aportada por luz blanca de intensidad regulable, con el objetivo de reproducir fielmente los colores de las actividades de entrenamiento y controlar que la imagen se vea afectada por falta de luz o por exceso, según el caso.

Por otro lado, la adquisición y muestreo de las imágenes debe ser mayor a la velocidad de visión del ser humano (aproximadamente 30 cuadros por segundo o FPS, por sus siglas en inglés), de tal manera que el usuario del entrenador no perciba retrasos en la imagen en relación con los movimientos realizados.

Dado que la cámara implementada puede capturar imágenes a una tasa de 90 FPS con resolución de 640x480 píxeles, se está trabajando en mejorar la aplicación de software para la visualización, trabajar sobre un sistema operativo más eficiente y agregar tarjetas de procesamiento de video de mayor capacidad.

De la evaluación del prototipo se pudo concluir además, que la estructura mecánica deberá dar más posibilidad de movimiento al instrumental y permitir realizar diferentes actividades según sea el nivel de entrenamiento requerido para los cirujanos.

#### IV. TRABAJOS FUTUROS

El Grupo de Óptica Biomédica de Ingeniería Biomédica EIA-CES está desarrollando un simulador de cirugía laparoscópica veterinaria —para grandes y pequeñas especies— que se pondrá en evaluación por los cirujanos de la Universidad CES a finales del segundo semestre de 2011.

Las experiencias y análisis recogidos con los prototipos de simuladores anteriores permitirán desarrollar un simulador optimizado.

La estructura mecánica diseñada deberá cumplir con las siguientes características una vez construida:

- El simulador tendrá una base de apoyo, y una base superior sobre la cual se insertarán el instrumental y la cámara, así como la posibilidad de agregar bases —removibles—, para ejecutar diversas actividades de entrenamiento.
- La cámara podrá estar en movimiento o fija al marco de la base superior del simulador.
- Se agregará una fuente de luz blanca de intensidad regulable para iluminar de manera uniforme el área de las actividades y su ubicación no generará reflejos en la lente de la cámara.
- La estructura no deberá permitir el paso de la luz externa hacia el espacio de trabajo.
- La estructura será modular, de fácil ensamble y des-ensamble para facilitar su transporte.

Una vez desarrollado, el software permitirá adquirir el video, procesarlo y visualizarlo en tiempo real.

## V. CONCLUSIÓN

Las observaciones realizadas por los expertos en cirugía tipo MIS han permitido mejorar nuestros prototipos de simuladores de cirugía laparoscópica, consecutivamente para dar respuesta a las necesidades y expectativas de los estudiantes de cirugía y a los cirujanos que requieran mejorar su desempeño por medio del entrenamiento. La posibilidad de desarrollar los simuladores, con base en las necesidades planteadas por sus usuarios directos, se convierte en una ventaja y un valor agregado de los prototipos presentados. Todo lo anterior, ha llevado a una gran acogida de los dispositivos por parte de los profesionales de la salud.

El desarrollo de simuladores requiere de la aplicación de conocimientos propios de la Ingeniería Biomédica y de la Ingeniería Mecatrónica. A pesar de sus diferentes perfiles profesionales, estudiantes de ambos programas han trabajado en los proyectos que han permitido llevar a buen término cada prototipo. En virtud de esto se ha formulado una nueva línea de investigación denominada “simuladores biomecánicos”, cuyos resultados aportarán al grupo de investigación en ingeniería biomédica GIBEC EIA-CES.

Al fusionar el trabajo de las dos ingenierías se beneficiará tanto a la Escuela de Ingeniería de Antioquia como a la Universidad CES, con el desarrollo de dispositivos para que el entrenamiento de médicos y veterinarios sea efectivo.

Esta investigación es afín a iniciativas recientes en varias universidades colombianas que han visto un surgimiento en el interés de investigar en los campos de la robótica médica y las cirugías mínimamente invasivas [12,13].

## REFERENCIAS

- [1]. Zhang, L. Visuomotor Congruency in Laparoscopic Surgery. Tesis de Maestría, Master of Science in Human Factors Engineering, Tufts University, 2010.
- [2]. Anderson, F. Objective Surgical Skill Evaluation. Tesis de Maestría, Master of Science, University of Alberta, 2010.
- [3]. Janetschek G., Rassweiler J., Griffith D. Laparoscópica en Urología: Instrumental y equipo. Masson, 1997. Capítulo 1, 10.
- [4]. Dawson L., Kaufman J. The imperative for medical simulation. *Proceedings of the IEEE*, 86(3), 479-483, 1998.
- [5]. Salas R., Ardanza P. Centro Nacional de Perfeccionamiento Médico y Medios de Enseñanza. La simulación como método de enseñanza y aprendizaje (1995). Consultado el 20 de junio de 2011 en: [http://bvs.sld.cu/revistas/ems/vol9\\_1\\_95/ems03195.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/ems/vol9_1_95/ems03195.htm)
- [6]. Ziv, A., Ben-David, S. and Ziv, M. Simulation based medical education: an opportunity to learn from errors. *Medical Teacher*, 27(3), 193-199, 2005.
- [7]. Indart A., Peñuelas B. PMFARMA. La Educación Médica a Pleno Rendimiento. Entrenamiento Basado en la Simulación (2010). Consultado el 30 de Marzo de 2011 en: <http://www.pmfarma.es/articulos/852-la-educacion-medica-a-pleno-rendimiento.-entrenamiento-basado-en-la-simulacion.html>
- [8]. Galindo J., Visbal L. Simulación, herramienta para la educación médica (Artículo de revisión). *Universidad del Norte, Taller de Simulación y Adiestramiento Clínico Quirúrgico*. 23 (1), 79-95, 2007.
- [9]. Morandera A., Cabrera A., Sabench F., Hernández M., del Castillo D. Simulador de bajo coste para el entrenamiento de habilidades laparoscópicas básicas. *Cirugía Española*, 87, 26-32, 2010.
- [10]. Justo J. M., Pedroza A., Prado E., Theurel G., Vásquez L.G. Un nuevo simulador de laparoscopia. *Medigraphic Artemisa*, 75 (1), 19-23, 2007.
- [11]. Schijven M., Jakimowicz J. Simuladores, primeras experiencias. *Revista Mexicana de Cirugía Endoscópica*, 4(3), 119-123, 2003.
- [12]. Ruiz D., Pérez V., Betancur M., Bustamante J. Cirugía robótica mínimamente invasiva: análisis de fuerza y torque. *Revista Ingeniería Biomédica* 8, 84-92, 2010.
- [13]. Díaz C., Trefftz H., Bernal J., Eliuk S. General algorithms for laparoscopic surgical simulators *Revista Ingeniería Biomédica* 8, 57-70, 2010.