

## Impacto de la mecatrónica en la medicina

## Impact of mechatronic in medicine

Lic. Elizabeth Larrondo Pons,<sup>I</sup> Dr. C. Gustavo Cervantes Montero<sup>I</sup> y Dr. C. Angel Sánchez Roca<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Dirección de Informatización, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>II</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

### RESUMEN

Se efectuó una revisión bibliográfica para determinar el impacto de la mecatrónica en el sector de la salud. Se valoró el desarrollo de esta desde la visión de diferentes investigadores, lo cual ha permitido su inserción en dicho sector. También se comprobó que la robótica y el procesamiento digital de imágenes y señales tienen mayor incidencia en la medicina. Asimismo, se hizo un análisis de la mecatrónica aplicada a esta ciencia, el cual demostró que las áreas quirúrgica y terapéutica son las más favorecidas y se nutren de técnicas innovadoras, que resultan más fiables y menos invasivas para el paciente.

**Palabras clave:** mecatrónica, equipamiento médico, robótica médica, robot quirúrgico.

### ABSTRACT

A literature review was carried out to determine the impact of mechatronic in the health sector. Its development was evaluated from the point of view of different investigators, which has allowed its insertion in this sector. It was also proven that robotics and digital processing of images and signs have higher incidence in medicine. Also, an analysis of mechatronic applied to this science was carried out, which demonstrated that the surgical and therapeutical areas are the most favored and receive nourishment through innovative techniques that are more reliable and less invasive for the patient.

**Key words:** mechatronic, medical equipment, medical robotics, surgical robot.

### INTRODUCCIÓN

A escala internacional, el sector de la salud ha mostrado un constante desarrollo hasta la actualidad. La necesidad de realizar diagnósticos cada día más certeros ha provocado la evolución de los diferentes dispositivos y/o equipos médicos de diagnóstico y monitoreo. Este desarrollo beneficia tanto a pacientes como a médicos, aunque se debe aclarar que sirve para apoyar y mejorar las capacidades del galeno, no para reemplazarlo.

De hecho, el desarrollo de la medicina en general no puede verse como un ente aislado, puesto que se vincula estrechamente con el perfeccionamiento de los procesos de diseño y fabricación en la ingeniería moderna. Asimismo, el progreso de la

electrónica y la computación, asociado al desarrollo de las tecnologías de la información y software, proporcionó que surgiera el término mecatrónica. La primera definición de dicho término fue hecha por la Empresa eléctrica Yasakawa en 1969.<sup>1</sup>

Posteriormente, en 1996, surge una definición más desarrollada e integradora, ofrecida por Harashima, Tomizuka y Fukada.<sup>2</sup> Los autores definen la mecatrónica como la integración sinérgica de la ingeniería mecánica con la electrónica y el control computarizado en el diseño, así como la manufactura de productos y procesos.

Existe un amplio consenso entre los investigadores dedicados al área de la micromecatrónica sobre que esta tiene una gran aplicación e impacto en la medicina,<sup>3</sup> puesto que se han desarrollado diversos sistemas robóticos para la realización de procedimientos médicos invasivos.<sup>4,5</sup>

Ahora bien, los sistemas robóticos médicos pueden dividirse, según su aplicación, en 2 grandes áreas: robots destinados a asistir a los médicos y de apoyo a los pacientes. Entre los primeros se encuentran: destinados a cirugía, terapia, diagnóstico y exploración. Los segundos se dividen en: sistemas robóticos de rehabilitación (robots y herramientas mecatrónicas para terapia clínica en la rehabilitación neuromotora y entrenamiento), así como tecnologías de asistencia (robots y máquinas destinadas a mejorar la capacidad de independencia de los pacientes, fundamentalmente ancianos). Entre las principales especialidades que emplean robots médicos, biorobots y sistemas biomecatrónicos figuran: neurocirugía, cirugía mínimamente invasiva, tecnología de asistencia a pacientes y prótesis, rehabilitación.<sup>6</sup>

Un análisis comparativo entre la cirugía asistida por robots y la convencional permitió determinar las ventajas y desventajas de cada una de estas intervenciones.<sup>5</sup> Las principales ventajas de la cirugía convencional son: capaz de utilizar información cualitativa, fuerte coordinación mano-ojo, flexible, adaptable y fácil de instruir; sin embargo, presenta limitaciones en cuanto a la precisión geométrica y esterilidad, la capacidad para utilizar información cuantitativa, la destreza fuera de escala natural, es susceptible a la radiación y la infección, así como el paciente está propenso a temblor y fatiga. Por su parte, la cirugía asistida por robots tiene buena precisión geométrica, puede esterilizarse, usar diversos sensores en control, movimiento de escala, presenta estabilidad y es incansable. Las desventajas asociadas a la cirugía asistida por robots están relacionadas fundamentalmente con aquellas que son provocadas por la inserción de la tecnología, por ejemplo, sin juicio crítico o valorativo, incapaz de usar información cualitativa, ausencia de sensación táctil, más estudios necesarios y costosos.

No solo para el desarrollo de la cirugía se han implementado dispositivos mecatrónicos. El cuidado del personal médico que labora en hospitales y laboratorios, vinculado con el tratamiento de muestras y otros riesgos bacteriológicos para su integridad física, también ha recibido atención por parte de investigadores.<sup>7</sup>

Los principales problemas que presentan las droguerías están relacionados con el tiempo que sus trabajadores demoran en organizar los medicamentos cuando se abastecen de suministros y hacen inventarios, la existencia de estantes de gran altura que dificultan la rápida organización de los productos y ocasionan la necesidad de usar escaleras o bancos pequeños, así como la tardanza del personal que atiende a los clientes. Esta problemática ha sido resuelta con la inserción de la mecatrónica en el sector de la medicina mediante la implementación de sistemas robóticos de palatización y localización de medicamentos.<sup>8</sup>

Cada día más, en la medicina se trata de lograr la pronta recuperación del paciente para brindar una mejor calidad de vida. En el área de la rehabilitación también existen informes de aplicación de la mecatrónica.<sup>9-12</sup> Se ha demostrado que los rehabilitadores mecatrónicos son una herramienta beneficiosa para recuperar y mantener el movimiento de una extremidad. Se eligen estos dispositivos porque presentan movimientos cíclicos sin cansancio y reproducen los ejercicios enseñados por el fisioterapeuta.

En el campo de la mecatrónica médica, las investigaciones se centran en varias áreas, todas relacionadas con el desarrollo de las partes que componen el dispositivo mecatrónico, desde los sensores que toman las señales anatómicas o externas, hasta los actuadores y sistemas de control y automatización.<sup>13</sup> Todos estos sistemas han evolucionado con el acelerado desarrollo de la electrónica y la computación, siempre con el objetivo de mejorar la salud y la calidad de vida de las personas.

### **MECATRÓNICA APLICADA AL SECTOR DE LA SALUD**

La inserción de la mecatrónica en la medicina data del siglo pasado. La creación de sistemas bioelectromecánicos a escalas macrométricas, micrométricas y nanométricas han revolucionado el campo de los equipos y dispositivos médicos. Aunque existen indicios de desarrollo de equipos médicos anteriores al surgimiento del término mecatrónica, en el presente estudio solo se muestran informes de aplicación posteriores a la definición dada por Harshama *et al*<sup>2</sup> en 1996.

En el campo de la simulación, Baldoli *et al*<sup>14</sup> muestran un mejoramiento en los sistemas de control de los equipos de ventilación artificial, pues obtienen un sistema de simulación para la ventilación mecánica en aplicaciones neonatales. Dicho sistema es empleado por las enfermeras y los neonatólogos en sesiones de entrenamiento sin ningún tipo de riesgo, debido a que permite reproducir diferentes condiciones de fisiopatologías en infantes para analizar disímiles escenarios clínicos.

Por su parte, Cleary *et al*<sup>4</sup> muestran un completo estado del arte de la aplicación de sistemas robóticos intervencionistas hasta el año 2000. Dichos autores enfatizan en sistemas robóticos para intervenciones guiadas por imágenes, tales como biopsia de lesiones sospechosas, tratamiento de tumor intersticial o colocación de aguja para bloqueo espinal y neurólisis; muestran detalladamente 4 sistemas robóticos médicos. Estos sistemas incluyen el AcuBot para inserción activa de aguja con el uso de la tomografía computarizada o la fluoroscopia; B-Rob para colocación de aguja mediante el empleo de la tomografía computarizada o el ultrasonido; la innovación para intervenciones con imágenes de resonancia magnética y tomografía computarizada, así como el MRBot para procedimientos que emplean imágenes de resonancia magnética.

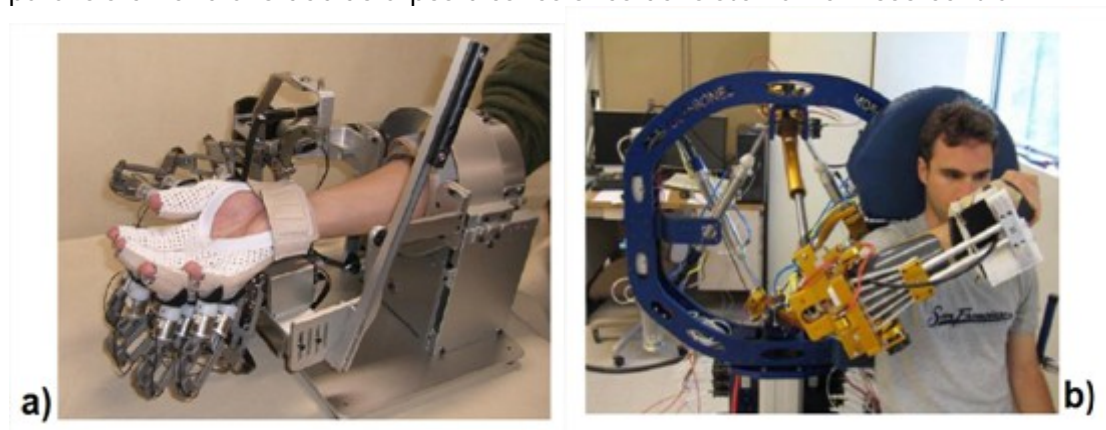
Los equipos de monitoreo de salud personalizados (PHM, por sus siglas en inglés) son aquellos que emplean los pacientes sin experiencia para el monitoreo de parámetros en ambientes no controlados, por ejemplo, el hogar. Los estudios realizados por Adeluvi y Lee<sup>15</sup> demuestran que los instrumentos virtuales médicos (MVI), constituyen una opción de bajo costo y flexible para el desarrollo de los PHM.

Najarian *et al*<sup>5</sup> muestran una clasificación de los robots quirúrgicos; una de ellas por el diseño de sus manipuladores, y la otra, por el nivel de autonomía, por ejemplo, robots preprogramados, guiados por la imagen y teleoperados. Otro gran grupo es el de los robots dirigidos a la anatomía, tales como cardíacos, intravasculares, percutáneos,

laparoscópicos y microquirúrgicos. No solo existen robots para acciones quirúrgicas, también se puede encontrar el grupo dirigido a controlar el entorno ambiental hospitalario, entre ellos se destacan aquellos empleados en el monitoreo de condiciones de operación de las salas, y limpieza del suelo en hospitales.

Un ejemplo de la protección al personal médico y de laboratorio lo muestran Rojas *et al*<sup>7</sup> en su artículo, quienes realizan la automatización del proceso de análisis bacteriológico para laboratorios clínicos a partir de la creación de un brazo robótico antropomórfico de 5 grados de libertad. Además del consiguiente impacto en la protección humana, este dispositivo permite ganar tanto en agilidad como en eficiencia y velocidad; también puede ser reprogramado fácilmente para que cumpla con el desplazamiento de cargas en diferentes trayectorias.

Los rehabilitadores mecatrónicos son dispositivos que favorecen la recuperación del paciente luego de una enfermedad o lesión. Estos dispositivos surgen debido al constante incremento del número de pacientes, la falta de personal profesional y los insuficientes centros de rehabilitación. Al respecto, Guzmán *et al*<sup>8</sup> muestran diferentes tipos de sistemas mecatrónicos aplicados en rehabilitadores de dedos, manos, brazos, cadera y tobillos. Uno de ellos es el rehabilitador capaz de movilizar los dedos de la mano y asistir al paciente en ejercicios de entrenamiento (figura 1a). Este dispositivo de 18 grados de libertad, cuenta con un sistema automático de regulación de movimiento, el cual permite ser controlado mediante la mano saludable del paciente. También se refieren a un rehabilitador de brazo llamado BONES, el cual se muestra en la figura 1b. En este caso, mediante la combinación de actuadores neumáticos, el dispositivo permite realizar entrenamientos repetitivos con pacientes que han sufrido parálisis en el brazo debido a posibles lesiones del sistema nervioso central.



**Fig 1 a).** Dispositivo mecatrónico rehabilitador de la mano

**Fig 1 b).** Rehabilitador del brazo

(Tomado de Guzmán *et al*<sup>8</sup>)

Con el rápido envejecimiento de la población a escala mundial, los dispositivos rehabilitadores deben ser más pequeños, menos costosos y más seguros, con el objetivo de permitir la migración de estos del hospital a las propias viviendas para de esa manera acercarlos al anciano.<sup>16</sup>

Otra aplicación de la mecatrónica es diseñada y desarrollada por Jiménez *et al*,<sup>17</sup> la cual consiste en un sistema basado en una interfaz cerebro-computador con el objetivo de controlar una silla de ruedas eléctrica, de forma independiente, para ser utilizada por pacientes con discapacidad severa, especialmente con tetraplejía. De igual manera,

Jin *et al*<sup>18</sup> utilizaron estrategias visuales para mejorar la precisión y disminuir el tiempo de calibración de un sistema basado en una interface cerebro-computador.

Por otra parte, en el campo de la odontología, el desarrollo de dispositivos y herramientas tecnológicas han permitido mejorar los procedimientos de prevención y diagnóstico, de manera tal que la muestra de exámenes se realiza de forma más sencilla y con mayor exactitud, lo cual genera un menor impacto en los pacientes.<sup>19</sup>

Otro sistema mecatrónico de bajo costo propuesto por Geethanjali,<sup>20</sup> demuestra la posibilidad del uso del reconocimiento y clasificación de patrones de las señales del electromiograma (EMG) para el control de una prótesis de mano. En este caso, adquieren 4 canales de señales de EMG de 10 pacientes sanos para 6 movimientos diferentes de la mano, cuyos patrones serán analizados y empleados en el control de dicha prótesis.

En tal sentido, Esqueda *et al*<sup>21</sup> presentaron un sistema para el control de un brazo robótico mediante el análisis de señales electroencefalográficas (EEG). A partir de la medición de la actividad eléctrica de la corteza cerebral y su procesamiento, la señal medida se compara con el patrón establecido para detectar el sentido y una vez que se logra, si es izquierda o derecha, el programa envía una palabra de control a un procesador Edison conectado al puerto USB de una computadora, para que se lleve a cabo el movimiento del brazo en el sentido detectado.

Recientemente Riillo *et al*,<sup>22</sup> desarrollaron un sencillo sistema neumático para producir un estímulo, inofensivo y a la vez intenso, controlado por una computadora para investigar los patrones cerebrales asociados con el empleo de imágenes funcionales magnéticas (fMRI). El sistema sincroniza los patrones de estímulo con las fMRI y otras mediciones fisiológicas similares a la actividad electroencefalográfica. Los autores demuestran que el sistema permite identificar los clústeres involucrados en la actividad funcional y es de crucial importancia en investigaciones relacionadas con los mecanismos de respuestas a estímulos táctiles.

El desarrollo de instrumentos quirúrgicos es otro tema de investigación relacionado con el progreso de la medicina a partir de la mecatrónica. En esta área Ota *et al*,<sup>23</sup> desarrollaron una herramienta quirúrgica endoscópica, para la cual usaron un mecanismo de membrana de vibración elástica. Los autores basaron su nuevo diseño en la solución de 3 problemas fundamentales que presentan los fórceps convencionales y que fueron planteados por cirujanos de experiencia.

En los últimos años, la cirugía mínimamente invasiva ha experimentado grandes avances y así lo muestran Chaparro y Vivas.<sup>24</sup> Estos investigadores realizan un recorrido por el desarrollo e integración de la robótica quirúrgica; comienzan por los primeros robots industriales utilizados en procedimientos médicos, seguidos por los grandes asistentes robóticos para cirugía abdominal, los minirobot y microrobot, sus tipos y diferentes aplicaciones, así como, finalmente, muestran los nanorobot diseñados para aplicaciones quirúrgicas.

Como es sabido, el desarrollo de robots de tamaño y dimensiones menores a un milímetro son conocidos como microrobot. Estos empezaron a ser estudiados hace relativamente poco tiempo gracias a la aparición del microcontrolador que permitió la miniaturización de diferentes equipos electrónicos. Cada vez más, los grupos de investigación han enfocado sus esfuerzos en diseñar y construir pequeños robots que puedan utilizarse en el campo de la salud.<sup>25</sup>

Al respecto, Jeong *et al*<sup>3</sup> presentaron un estudio sobre la aplicación de la micromecatrónica en la medicina, donde muestran un nuevo sistema de locomoción desarrollado para el tratamiento intravascular, basado en 2 pares de bobinas (un par en cada eje) que garantizan el movimiento del microrobot.

Otra vertiente de robots quirúrgicos es la de robots tipo cápsula médica (MCR). Actualmente se pueden crear y desarrollar nuevos tipos de cápsulas para diversas aplicaciones médicas gracias a la reciente aparición de una plataforma de diseño de MCRs de código abierto.<sup>26</sup> El objetivo de esta plataforma es que los ingenieros y médicos aprovechen todas las oportunidades que los minirobots tipo cápsula presentan en el campo clínico.

Las cápsulas endoscópicas están diseñadas para facilitar el procedimiento de la endoscopia y obtener datos más confiables, de manera que se pueda disminuir la incomodidad del paciente.<sup>24</sup> Una de las cápsulas endoscópicas más conocida es la *PillCam* (figura 2a) que se comercializa por *Given Imaging*, y se trata de una videocápsula que recorre el intestino para tomar y enviar imágenes en tiempo real. Está compuesta por una cápsula que se puede ingerir, un registrador de datos con sensores y cámara, así como una estación de trabajo. Dicha cápsula puede adquirir imágenes por ambos lados con una tasa de 4 cuadros por segundo; en sus versiones más recientes se ha mejorado tanto el ángulo de visión como la calidad de las imágenes que adquiere.

Asimismo, en la figura 2b se muestra otro tipo de minirobot que se puede utilizar en cirugía conocido como del tipo modular. Está compuesto por módulos que se ensamblan dentro del cuerpo humano y forman minirobots funcionales.<sup>24</sup> Este robot modular ingerible está formado por varios minirobots del tipo cápsula híbrida, los cuales son ingeridos por el paciente y a través de magnetos se conectan en el interior del cuerpo; estos magnetos permiten su manipulación externa.



**Fig 2 a).** Cápsula endoscópica *Pillcam*

(tomado de Chaparro y Vivas)<sup>24</sup>

**Fig 2 b).** Robot modular ingerible

En una escala de mayor integración y menor tamaño se encuentran los nanorobots que forman parte de la tecnología más reciente. Se han diseñado para tratar tumores de difícil acceso, enfermedades como el cáncer, llevar células madre a lugares específicos o navegar dentro de la retina (figura 3). Se espera que trabajen colaborativamente y para manipularlos se proponen varias soluciones, entre las cuales figuran: uso de bacterias como vehículos de carga de los nanorobots y manipulación de estos con campos electromagnéticos, empleo de la glucosa y el oxígeno como fuente de

propulsión o en dependencia de su composición y manipulación de la temperatura para estimular su movimiento.<sup>27</sup> Esto permite que unido al diseño y construcción de estos pequeños dispositivos, además de la ingeniería y la medicina, estén la química y la biología, lo cual amplía el carácter multidisciplinario de la robótica aplicada al sector de la salud.<sup>24</sup>



**Fig 3.** Nanorobot que puede nadar dentro de la retina.  
(Tomado de chaparro y Vivas)<sup>24</sup>

Entre las ventajas del uso de la nanorobótica en la medicina se encuentran: bajo costo de los procedimientos, recuperación rápida, cirugías no invasivas, capacidad para alcanzar lugares remotos a los que el cirujano no puede acceder y mayor exactitud en los procedimientos.<sup>27</sup>

No podría hablarse de aplicación de la mecatrónica en la medicina sin mencionar el Sistema quirúrgico Da Vinci (figura 4a). Su primera versión surgió en 1999 y es el robot quirúrgico más avanzado conocido hasta la actualidad, pues realiza procedimientos de cirugía abdominal por vía laparoscópica donde el cirujano puede observar las imágenes en la pantalla de un monitor. Para mejorar este sistema Yoshida *et al*<sup>28</sup> desarrollaron un novedoso dispositivo (figura 4b) para la observación de la imagen, ubicado en la propia cabeza del cirujano. Este sistema ubica una imagen 3D de mayor calidad y definición frente a los ojos del cirujano que permite además, mejorar la postura de este.



**Fig 4 a).** Imagen de la consola HMD empleada en una intervención laparoscópica asistida por robot (tomado de Yoshida *et al*)<sup>28</sup>

**Fig 4 b).** Da Vinci del lado del paciente (tomado de Petrescu *et al*)<sup>29</sup>

## CONCLUSIONES

La mecatrónica aplicada a la medicina ha permitido desarrollar nuevos dispositivos para mejorar la calidad de vida de los pacientes y el personal médico. El desarrollo de estos dispositivos para la rehabilitación de dichos pacientes ha sido una de las áreas de mayor interés en el sector de la salud. Las potenciales aplicaciones de la cirugía robótica y de nuevas tecnologías en diferentes procedimientos quirúrgicos, ubican a la cirugía como la especialidad que ha tenido mayor integración con la mecatrónica. El principal inconveniente de los grandes asistentes quirúrgicos es que presentan elevados precios, ello provoca que en la actualidad muchos pacientes y cirujanos continúen con los procedimientos tradicionales, fundamentalmente en países subdesarrollados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mori T. Mechatronics. Yasakawa Internal Trademark Application Memo. 1969.
2. Harshama F, Tomizuka M, Fukuda T. Mechatronics. What is it, why, and how? IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. 1996; 1 (1): 1-4.
3. Jeong S, Choi H, Lee Ch, Go G, Sim DS, Lim KS, et al. Therapeutic intravascular microrobot through compensation of resistance and mutual inductance in electromagnetic actuation system. International Journal of Control, Automation and Systems. 2015; 13 (6): 1465-75.
4. Cleary K, Melzer A, Watson V, Kronreif G, Stoianovici D. Interventional robotic systems: Applications and technology state-of-the-art. Minim Invasive Ther Allied Technol. 2006; 15 (2): 101–13.
5. Najarian S, Fallahnezhad M, Afshari E. Advances in medical robotic systems with specific applications in surgery—a review. J Med Eng Technol. 2011; 35 (1): 19–33.
6. Li Z, Yang Ch, Burde E. An overview of biomedical robotics and bio-mechatronics systems and applications. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics: Systems. 2016; 46 (7): 1-6.
7. Rojas JS, Escrucería S, Suárez MA, Peña CA. Diseño e implementación de un brazo robótico de bajo costo para la automatización en el proceso de análisis bacteriológico. Revista INGE CUC. 2012; 8 (1): 219-30.
8. Domínguez Castellar RE, Pinilla Brito S. Diseño y simulación de un dispositivo robótico para organizar medicamentos. [Tesis]. Nueva Granada: Universidad Militar Nueva Granada; 2012.
9. Guzmán Valdivia CH, Blanco Ortega A, Oliver Salazar MA. Entendiendo la mecatrónica en la rehabilitación. México: CIINDET; 2013.
10. Huang HP, Liu YH, Lee WCh, Kuan JY, Huang TH. Rehabilitation robotic prostheses for upper extremity. 2015.
11. López Camacho F, Serna Hernández L, Olguín Camacho J. Desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación de miembros superiores. Revista de Tecnología e Innovación. 2016; 3 (7): 1-12.



12. Bhagat NA, Venkatakrishnan A, Abibullaev B, Artz EJ, Yozbatiran N, Blank AA, et al. Design and optimization of an EEG-based brain machine interface (BMI) to an upper-limb exoskeleton for stroke survivors. *Front Neurosci*. 2016 [citado 8 Jul 2017]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2016.00122/full>
13. Yasodharan R, Sivabalakrishnan R, Priya K. Study of medical mechatronics. *JPSBM*. 2014; 2 (11): 52-9.
14. Baldoli I, Cuttano A, Scaramuzzo R, Tognarelli S, Ciantelli M, Cecchi F, et al. A novel simulator for mechanical ventilation in newborns: Mechatronic Respiratory System Simulator for Neonatal Applications. *Proc IMechE Part H: J Engineering in Medicine*. 2015; 229 (8): 581–91.
15. Adeluyi O, Lee JA. Medical virtual instrumentation for personalized health monitoring: A Systematic Review. *Journal of Healthcare Engineering*. 2015; 6 (4): 739–77.
16. Huang HP, Liu YH, Lee WC, Kuan JY, Huang TH. Medical mechatronics: Part I - rehabilitation robotic prostheses for upper extremity. *Contemporary Issues in System Science and Engineering*. EUA: Wiley-IEEE Press; 2015.
17. Jiménez Franco LD. Desarrollo de un sistema basado en una interfaz cerebro computador para controlar dispositivos mecatrónicos de uso médico orientados a pacientes con discapacidad severa. [Tesis]. Medellín: Universidad EAFIT; 2013.
18. Jin J, Sellers EW, Zhang Y, Daly I, Wang X, Cichocki A. Whether generic model works for rapid ERP-based BCI calibration. *J Neurosci Methods*. 2013; 212 (1): 94-9.
19. Suárez Mora DR, Lancheros Cuesta D, Aguirre Carpeta WY. Sistema HCI basado en el controlador Leap Motion aplicado a la prevención de caries dental. Bogotá: CIIMA; 2015. p. 136-40.
20. Geethanjali P. A mechatronics platform to study prosthetic hand control using EMG signals. *Australas Phys Eng Sci Med*. 2016; 39 (3): 765-71.
21. Esqueda Elizondo J, Hernández Manzo D, Bermúdez Encarnación E, Jiménez Beristáin L, Pinto Ramos M. Manipulación de un brazo robótico mediante señales electroencefalográficas. *Rev Tec Innov*. 2016; 3 (7): 89-98.
22. Riillo F, Bagnato C, Allievi AG, Takagi A, Fabrizi L, Saggio G, et al. A simple fMRI compatible robotic stimulator to study the neural mechanisms of touch and pain. *Ann Biomed Eng*. 2016; 44: 2431-41.
23. Ota R, Yamamoto I, Lawn M, Nagayasu T, Yamasaki N, Matsumoto K. Development of a surgical instrument using an elastic vibration wing mechanism. *First International Symposium on Flutter and its Application*. JAXA SP. 2016. p. 403-6.
24. Chaparro Velasco MC, Vivas Albán OA. Robótica quirúrgica, desde los grandes asistentes hasta la nanotecnología. *Scientia et Technica*. 2016; 21 (2): 182-90.

25. Bogue R. Miniature and microrobots: a review of recent developments. *Industrial Robot: An International Journal*. 2015; 42 (2): 98-102.
26. Beccani M, Tunc H, Taddese A, Susilo E, Volgyesi P, Ledeczki A, et al. Systematic design of medical capsule robots. *IEEE Design & Test*. 2015; 32 (5): 98-108.
27. Khulbe P. Nanorobots: a review. *IJPSR*. 2014; 5 (6): 2164-73.
28. Yoshida S, Fukui N, Saito K, Fujii Y, Kageyama Y, Kihara K. Novel image monitoring system using a head-mounted display for assistants in da Vinci surgery. *International Journal of Urology*. 2015; 22: 520–21.
29. Petrescu RV, Aversa R, Apicella A, Petrescu FI. Future Medicine Services Robotics. *AJEAS*. 2016; 9 (4): 1062-87.

Recibido: 31 de octubre de 2017.

Aprobado: 28 de febrero de 2018.

*Elizabeth Larrondo Pons*. Universidad de Oriente, Avenida de las Américas S/N, Santiago de Cuba, Cuba. Correo electrónico: [elizabeth@uo.edu.cu](mailto:elizabeth@uo.edu.cu)