

Tipo de artículo: Artículo original

Tecnologías digitales innovadoras aplicadas al desarrollo de los exoesqueletos de rehabilitación de mano

Innovative digital technologies applied to the development of hand rehabilitation exoskeletons

Rosario Magdalena Romero Castro ^{1*} , <https://orcid.org/0000-0002-6016-9145>

Gema Monserrate Conforme Cedeño ² , <https://orcid.org/0000-0002-4425-4761>

Jhon Jairo Silva Gorozabel ³ , <https://orcid.org/0000-0002-1882-1216>

Carmen Argentina Álvarez Vásquez ⁴ , <https://orcid.org/0000-0002-0099-3853>

¹ Magister en Contabilidad y Auditoría. Docente de la Carrera de Tecnologías de la Información, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. Correo: rosario.romero@unesum.edu.ec

² Ingeniera Comercial, Magister en Contabilidad y Auditoría. Docente del Centro Emprendimiento, Liderazgo e Innovación para el Desarrollo de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. gema.conforme@unesum.edu.ec

³ Magister en Gerencia de la Calidad e Innovación. Docente de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. jhon.silva@unesum.edu.ec

⁴ Magister en Docencia Universitaria e Investigación. Máster en Marketing Digital. Diplomado en Autoevaluación y Acreditación Universitaria. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. carmen.alvarez@unesum.edu.ec

* Autor para correspondencia: rosario.romero@unesum.edu.ec

Resumen

Los exoesqueletos de mano son dispositivos tecnológicos diseñados para asistir y mejorar la función de la mano. Estos suelen ser utilizados por personas que tienen limitaciones en la movilidad de las manos. En este estudio se presentó un exoesqueleto para la rehabilitación de la mano derecha, capaz de efectuar movimientos de cada dedo y, de este modo intensificar su fuerza mediante la programación integrada en un Arduino. Los materiales que se emplearon en el desarrollo de este producto se detallan más adelante como materiales directos e indirectos. La empresa se encuentra ubicada en la provincia de Manabí en la ciudad de Jipijapa. La estructura organizacional de la misma cuenta con varios departamentos, como el de producción, el de programación, y el de administración, los cuales son importantes para el funcionamiento de la empresa. La metodología utilizada cuenta con métodos científicos tales como: Histórico-lógico, Análisis-síntesis, Diseño Experimental, Análisis de datos, encuesta, Matemático estadístico, entre otros que permitieron el desarrollo de la investigación. Como resultado se conoció que las tecnologías aplicadas a la atención médica en el campo de la rehabilitación benefician a los pacientes y también alivia la carga de trabajo de los profesionales de la salud. Se concluye que el desarrollo de exoesqueletos de rehabilitación de mano impulsados por tecnologías digitales innovadoras representa un hito significativo en la atención médica y la rehabilitación de pacientes. Esta investigación es producto del proyecto de Investigación titulado “La enseñanza constructivista sustentada en la inteligencia artificial”.

Palabras clave: exoesqueleto; innovación; mano; rehabilitación, tecnologías

Abstract

Hand exoskeletons are technological devices designed to assist and improve hand function. These are usually used by people who have limitations in hand mobility. In this study, an exoskeleton was presented for the rehabilitation of the right hand, capable of making movements of each finger and, in this way, intensifying its strength through programming integrated into an Arduino. The materials that were used in the development of this product are detailed below as direct and indirect materials. The company is located in the province of Manabí in the city of Jipijapa. Its organizational structure has several departments, such as



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

production, programming, and administration, which are important for the operation of the company. The methodology used has scientific methods such as: Historical-logical, Analysis-synthesis, Experimental Design, Data Analysis, survey, Statistical Mathematics, among others that allowed the development of the research. As a result, it was known that technologies applied to medical care in the field of rehabilitation benefit patients and also alleviate the workload of health professionals. It is concluded that the development of hand rehabilitation exoskeletons powered by innovative digital technologies represents a significant milestone in medical care and patient rehabilitation. This research is a product of the research project titled "Constructivist teaching supported by artificial intelligence".

Keywords: *exoskeleton; hand; innovation; rehabilitation, technologies*

Recibido: 25/04/2023

Aceptado: 26/08/2023

En línea: 18/09/2023

Introducción

Las tecnologías digitales innovadoras han revolucionado el campo de la rehabilitación de mano a través del desarrollo de exoesqueletos avanzados. Estos dispositivos ofrecen un camino prometedor hacia una recuperación más rápida, efectiva y motivadora para las personas que han sufrido lesiones o discapacidades en la mano.

Personas con ciertas patologías tienen limitaciones en sus actividades de la vida diaria, tales como coger un vaso de agua o Exoesqueleto para mano discapacitada con movimiento y sensibilidad, pero sin fuerza mover un objeto. Las ortesis ayudan a mejorar y/o restaurar la funcionalidad del sistema muscoesquelético en pacientes que tienen las limitaciones descritas. Este artículo presenta una de estas ortesis, un exoesqueleto para la mano discapacitada, con el fin de ayudar a mejorar sus actividades de la vida diaria. La novedad de este exoesqueleto patentado es que no necesita ningún tipo de energía externa para su activación. Un movimiento de la muñeca hace que se active, creando una cadena cinemática de movimientos que ayuda a agarrar el objeto (Belter JT and Dollar AM. 2011).

En los últimos años, se ha producido un avance significativo en el desarrollo de tecnologías digitales innovadoras para el diseño de exoesqueletos para la mano aplicados en la rehabilitación de pacientes con artritis crónica. Estas tecnologías han permitido la creación de dispositivos más avanzados y eficaces, que pueden ayudar a los pacientes a recuperar la movilidad y la funcionalidad de sus manos de manera más rápida y efectiva.

En la búsqueda incansable por mejorar la calidad de vida de las personas que han experimentado lesiones en la mano o han sufrido discapacidades motoras en esta parte crucial de su anatomía, la ciencia y la tecnología han unido fuerzas para desarrollar exoesqueletos de rehabilitación de mano con tecnologías digitales innovadoras. Estos dispositivos representan un avance revolucionario en el campo de la rehabilitación, ya que permiten a los pacientes recuperar la funcionalidad de sus manos de una manera más eficaz y eficiente que nunca antes. En este contexto, esta introducción tiene como objetivo explorar las tecnologías digitales innovadoras aplicadas al desarrollo de exoesqueletos de



rehabilitación de mano, analizando su importancia, evolución y potencial impacto en la salud y la calidad de vida de los pacientes.

La mano humana es una maravilla de la biomecánica y la precisión. Su compleja estructura anatómica permite una amplia gama de movimientos y acciones que son esenciales para llevar a cabo las actividades cotidianas, desde escribir y alimentarse hasta vestirse y realizar tareas laborales. Sin embargo, cuando una lesión, un accidente o una enfermedad afecta la funcionalidad de la mano, puede tener un impacto devastador en la independencia y la calidad de vida de una persona (Ouellette E.A, McAuliffe J.A., Caneiro R. 1992).

La rehabilitación de mano tradicional ha sido un proceso desafiante y lento. Los terapeutas ocupacionales y fisioterapeutas han trabajado incansablemente para ayudar a los pacientes a recuperar la fuerza y la destreza en sus manos a través de ejercicios manuales y terapias específicas. Aunque este enfoque ha sido efectivo en muchos casos, también tiene limitaciones significativas. La terapia manual puede ser agotadora tanto para el paciente como para el terapeuta, y la progresión en la recuperación a menudo es lenta y desafiante. Además, no todos los pacientes tienen acceso a terapeutas especializados, lo que limita aún más las opciones de rehabilitación.

La aparición de los exoesqueletos de rehabilitación de mano ha representado un punto de inflexión en el tratamiento de las discapacidades de la mano. Estos dispositivos, inspirados en la ciencia ficción y la robótica, se han convertido en una realidad gracias a avances significativos en tecnologías digitales, ingeniería biomecánica y neurociencia. Un exoesqueleto de rehabilitación de mano es un dispositivo externo que se coloca sobre la mano y la muñeca del paciente, y utiliza tecnología digital para asistir y mejorar los movimientos de la mano, así como para proporcionar retroalimentación y datos sobre el progreso del paciente. (Wege A., Kondak K., Hommel G. 2005)

La Innovación Tecnológica Digital ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de exoesqueletos de rehabilitación de mano efectivos y versátiles. Estas tecnologías incluyen:

- **Sensores de Movimiento Avanzados:** Los exoesqueletos modernos están equipados con sensores de alta precisión que pueden detectar incluso los movimientos más sutiles de los dedos y la muñeca. Estos sensores permiten una interacción más natural entre el paciente y el exoesqueleto, lo que facilita una experiencia de rehabilitación más efectiva.
- **Control por Inteligencia Artificial:** Muchos exoesqueletos utilizan algoritmos de inteligencia artificial para adaptarse de manera dinámica a las necesidades del paciente. Esto significa que pueden personalizar los ejercicios de rehabilitación y ajustar la resistencia de acuerdo con el progreso del paciente en tiempo real.
- **Interfaces Cerebro-Computadora:** Algunos exoesqueletos de última generación están integrando interfaces cerebro-computadora (BCI) que permiten a los pacientes controlar el dispositivo con su pensamiento. Esto es



especialmente beneficioso para personas con discapacidades graves que no pueden mover físicamente sus manos.

- **Realidad Virtual y Gamificación:** La tecnología de realidad virtual se ha incorporado en algunos exoesqueletos para hacer que la rehabilitación sea más atractiva y motivadora para los pacientes. Los juegos y las experiencias virtuales pueden hacer que los ejercicios sean más entretenidos y estimulantes.
- **Tele-rehabilitación:** La conectividad digital también ha permitido la tele-rehabilitación, donde los pacientes pueden realizar ejercicios de rehabilitación bajo la supervisión de terapeutas a través de videoconferencia. Esto es especialmente útil para personas que viven en áreas remotas o tienen dificultades para desplazarse.

Estas tecnologías tienen gran impacto potencial en la salud y la calidad de vida, la aplicación de estas tecnologías digitales innovadoras en el desarrollo de exoesqueletos de rehabilitación de mano tiene el potencial de transformar radicalmente la forma en que las personas se recuperan de lesiones o discapacidades en la mano. Esta transformación se traduce en una serie de impactos positivos tales como:

- **Recuperación Más Rápida:** Los exoesqueletos de rehabilitación de mano pueden acelerar significativamente el proceso de recuperación, permitiendo a los pacientes recuperar la funcionalidad de sus manos de manera más rápida y eficaz.
- **Mayor Motivación y Adherencia:** La inclusión de elementos de gamificación y realidad virtual puede hacer que la rehabilitación sea más atractiva, lo que a su vez mejora la motivación y la adherencia de los pacientes a sus programas de rehabilitación.
- **Mayor Acceso a la Rehabilitación:** La tele-rehabilitación y la portabilidad de algunos exoesqueletos amplían el acceso a la rehabilitación de mano, permitiendo que más personas reciban atención especializada, independientemente de su ubicación geográfica.
- **Reducción de la Carga del Personal de Atención Médica:** Con exoesqueletos de rehabilitación de mano efectivos, la carga de trabajo de los terapeutas y profesionales de la salud se puede reducir, lo que les permite centrarse en casos más complejos y brindar una atención de mayor calidad.

El objetivo de este estudio es explorar las tecnologías digitales innovadoras aplicadas al desarrollo de los exoesqueletos de rehabilitación de mano. Se describirán las tecnologías utilizadas en el diseño y la fabricación de estos dispositivos, así como su aplicación en la rehabilitación de pacientes con artritis crónica y otras afecciones que afectan la movilidad de las manos. Algunas de las tecnologías digitales innovadoras más relevantes utilizadas en el diseño y la fabricación de exoesqueletos de rehabilitación de mano:



- **Diseño Asistido por Ordenador (DAO):** Esta tecnología permite el diseño y la simulación de exoesqueletos de mano en un entorno virtual, lo que permite a los diseñadores y fabricantes probar diferentes diseños y configuraciones antes de la fabricación real.
- **Impresión 3D:** La impresión 3D es una tecnología que permite la fabricación de exoesqueletos de mano personalizados y adaptados a las necesidades específicas de cada paciente. Esto permite una mayor precisión y eficacia en la rehabilitación.
- **Sensores y actuadores:** Los exoesqueletos de mano pueden incluir sensores y actuadores que permiten la detección y el control de los movimientos de la mano. Estos dispositivos pueden ser controlados por el paciente o por un terapeuta, lo que permite una mayor personalización y adaptabilidad.
- **Realidad Virtual:** La realidad virtual es una tecnología que permite la simulación de entornos y situaciones de la vida real en un entorno virtual. Esto puede ser útil para la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras, ya que les permite practicar y mejorar sus habilidades en un entorno seguro y controlado.
- **Inteligencia Artificial:** La inteligencia artificial es una tecnología que permite la automatización de procesos y la toma de decisiones basadas en datos. En el contexto de los exoesqueletos de mano, la inteligencia artificial puede ser utilizada para analizar los datos de los sensores y actuadores y ajustar el dispositivo para una mayor eficacia en la rehabilitación.

Las tecnologías digitales innovadoras aplicadas al desarrollo de los exoesqueletos de rehabilitación de mano están transformando la forma en que se aborda la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras. La combinación de tecnologías como el DAO, la impresión 3D, los sensores y actuadores, la realidad virtual y la inteligencia artificial permite la creación de dispositivos más avanzados y eficaces, que pueden ayudar a los pacientes a recuperar la movilidad y la funcionalidad de sus manos de manera más rápida y efectiva. (Wang J., Li J., Zhang Y., Wang. 2009).

Materiales y métodos

La investigación en el campo de las tecnologías digitales aplicadas a exoesqueletos de rehabilitación de mano es esencial para avanzar en esta área y desarrollar soluciones más efectivas y accesibles. A continuación, se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación de manera sistemática y rigurosa:

Histórico-lógico: se realizó una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con los exoesqueletos de rehabilitación de mano y las tecnologías digitales aplicadas en este contexto, lo que permitió identificar los avances y los desafíos existentes.

Análisis-síntesis: a través de la entrevista se definió los criterios de inclusión para los pacientes y participantes en el estudio.



Diseño Experimental: se diseñó un estudio experimental apropiado para los objetivos de la investigación.

Análisis de datos: los datos, como sensores de movimiento, interfaces cerebro-computadora y encuestas, permitieron recopilar datos relevantes sobre el uso y la efectividad de los exoesqueletos de rehabilitación de mano.

Implementación de Exoesqueletos de Rehabilitación de Mano: permitió configurar y calibrar adecuadamente los exoesqueletos para garantizar la precisión de los resultados. Realizar sesiones de prueba piloto para resolver problemas técnicos y ajustar los dispositivos según sea necesario.

Esta metodología proporcionó un enfoque estructurado y completo para llevar a cabo la investigación en el campo de las tecnologías digitales aplicadas a exoesqueletos de rehabilitación de mano. La colaboración interdisciplinaria entre expertos en medicina, ingeniería, informática y terapia ocupacional es esencial para abordar los desafíos y avanzar en esta área de investigación.

Descripción del contexto organizacional

Esta investigación se desarrolla en Jipijapa, Manabí, Ecuador en la empresa Innova Tech'S, dedicada a la elaboración y comercialización de exoesqueletos, sin fines de lucro, la idea de elaborar este producto nace a partir de identificar los diferentes problemas que existen en Ecuador-Manabí-Jipijapa; como lo es la escasez de exoesqueletos de mano en los centros de salud y hospitales.

Es por ello, que se aprovechó la oportunidad de entrar al mercado, con un producto innovador como lo es la mano robótica, puesto que, permite la reducción y prevención de enfermedades y lesiones laborales causadas por el esfuerzo físico. Al mismo tiempo, se mejora la calidad de vida del cliente por medio de la rehabilitación.

Con respecto al mercado, se puede señalar que la existencia de este tipo de productos es muy baja teniendo en cuenta que no hay un conocimiento actualizado de la importancia de este producto y adicional a esto los centros de salud y clínicas del cantón Jipijapa, no poseen los recursos necesarios para la implementación del mismo.

El mercado meta al cual está dirigido la línea de producto de los exoesqueletos de mano serían hombres y mujeres, cuya edad se encuentran entre los 18 años en adelante y tengan como preferencia realizar este tipo de rehabilitaciones en su vida diaria, siendo un producto que aportará en un 100% a la salud, y que será de muy buena calidad para mejorar la vida de los clientes.

La empresa INNOVA TECH'S es una organización de cuatro socios de los cuales han invertido por partes iguales para formar el capital y empezar a producir nuestro producto. La organización, cuenta con una estructura que a continuación se detalla, un departamento de sala de espera, impresiones, ensamblaje, programación y el área administrativa en la cual se contabilizan las facturas emitidas y recibidas; así mismo cuenta con un departamento de empaquetado, puesto que, permite agilizar los procesos de fabricación y entrega del producto.



La empresa cuenta con varios departamentos que a su vez se subdividen en otros, permitiendo todos estos en conjunto la comercialización del producto EXO'HAND.

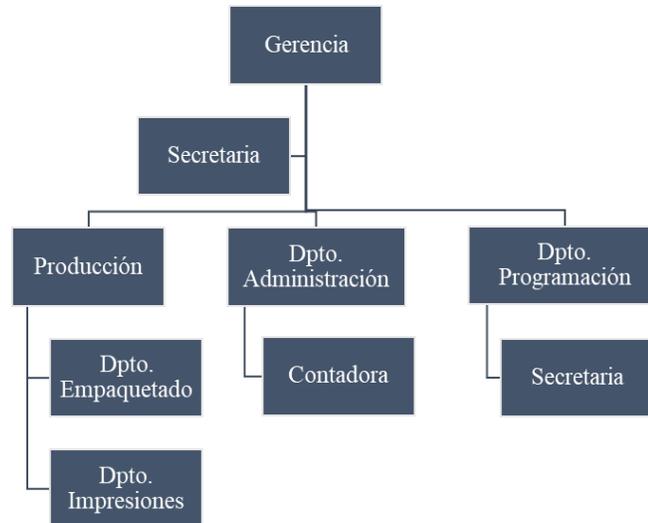


Figura 1. Organigrama de la empresa

Resultados y discusión

Existen gran variedad de dispositivos para el accionamiento sea de una prótesis u ortesis (dispositivos externos acoplados sobre la mano discapacitada de un usuario) que permiten o facilitan la funcionalidad de la misma. Sin embargo, la tecnología desarrollada presenta la novedad de ser cómoda y de fácil manejo por parte del paciente al poder adaptarse al tamaño de la mano y longitud de los dedos del paciente, así como no necesitar ninguna fuente de energía para su funcionamiento (Stergiopoulos, Moreau, 2003).

El producto que se desarrolló tiene por nombre EXO'HAND es un producto fabricado con tecnología y materiales de plástico PLA, de calidad, que presenta muchos beneficios para la salud de las personas que deseen hacer uso de este exoesqueleto, ya que no solo permite rehabilitar la mano sino mejorará la movilidad de los miembros, además será muy solicitado debido a que en el país no existen empresas que se dediquen a la fabricación de las mismas, presentando una gran ventaja en relación a la competencia. Para la creación del mismo se llevó a cabo los siguientes pasos:

- 1) Compra del plástico PLA
- 2) Transportar el material al área de impresión
- 3) Impresión de las piezas



- 4) Revisión de las piezas para verificar la calidad de impresión, si no es así regresar a la operación 3; si están correctas seguir con el proceso.
- 5) Transportar piezas impresas al área del ensamblaje
- 6) Ensamblaje de las piezas para formar el exoesqueleto
- 7) Verificar el ensamblaje de las piezas para verificar si existe algún error, si es así regresar a la operación 6; si esta correcto seguir con el proceso
- 8) Transportar exoesqueleto al área de programación
- 9) Programar el correcto funcionamiento del exoesqueleto
- 10) Verificar el funcionamiento del exoesqueleto, di no funciona correctamente regresar a la operación 9; si el funcionamiento es correcto seguir con el proceso
- 11) Transportar exoesqueleto al área de empaquetado
- 12) Empaquetado del producto
- 13) Distribución, Facturación y cobro.



Figura 2. Exoesqueleto con tecnología para la rehabilitación de la mano.

La convergencia de la tecnología y la atención médica en el campo de la rehabilitación de mano no solo beneficia a los pacientes, sino que también alivia la carga de trabajo de los profesionales de la salud. Los exoesqueletos de rehabilitación de mano efectivos pueden reducir la carga de trabajo de los terapeutas, permitiéndoles enfocarse en casos más complejos y brindar una atención más personalizada (Shields B. L., Main J.A., Peterson S.W., Strauss A.M. 1997).



Aplicación de la encuesta

Para el desarrollo de la investigación se realizaron encuestas a 50 participantes, en las que se destacaron las siguientes preguntas:

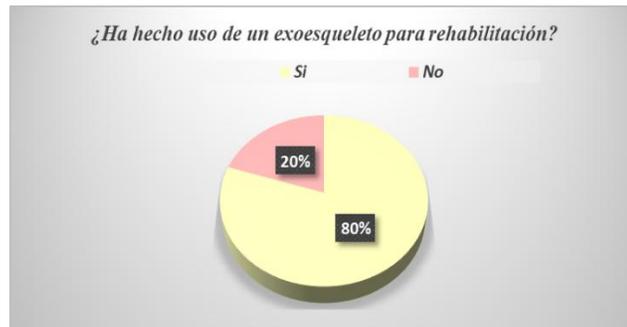


Figura 3. Realización del exoesqueleto para la rehabilitación.

Los resultados obtenidos de las encuestas a las 50 personas del Cantón Jipijapa indican que el 80% de las personas; es decir 40 personas si ha hecho uso de un exoesqueleto para rehabilitación, mientras que el 20%, equivalente a 10 personas no han hecho uso de un exoesqueleto para rehabilitación.



Figura 4. Necesidad del empleo del exoesqueleto.

Los resultados obtenidos de las encuestas a las 50 personas del Cantón Jipijapa indican que el 90% de las personas; es decir 45 personas creen que en los hospitales y centros de rehabilitación de Jipijapa se deberían emplear exoesqueletos, mientras que el 10%, equivalente a 5 personas no creen que se deba implementar exoesqueletos en los Hospitales y Centros de rehabilitación, puesto que consideran que no benefician.



Figura 5. Contribución del exoesqueleto a la rehabilitación.

Los resultados obtenidos de las encuestas a las 50 personas del Cantón Jipijapa, indican que el 96%; es decir 48 de las personas creen que un exoesqueleto ayudaría en la rehabilitación de la mano, mientras que el 4%, equivalente a 2 personas, no creen que un exoesqueleto ayude en la rehabilitación de la mano.

Con la realización de la investigación se constató que las tecnologías digitales innovadoras aplicadas al desarrollo de exoesqueletos de rehabilitación de mano representan un avance revolucionario que tiene el potencial de transformar la forma en que las personas se recuperan de lesiones o discapacidades en la mano. Si bien aún existen desafíos técnicos y económicos por superar, no cabe duda de que estas tecnologías ofrecen una promesa significativa para mejorar la salud y la calidad de vida de los pacientes en todo el mundo. A medida que la investigación continúa y se perfeccionan estos dispositivos, es probable que veamos avances aún más impresionantes en el campo de la rehabilitación de mano en los años venideros (Koyama T., Yamano I., Takemura K., Maeno, 2002).

Conclusiones

El desarrollo de exoesqueletos de rehabilitación de mano impulsados por tecnologías digitales innovadoras representa un hito significativo en la atención médica y la rehabilitación de pacientes con discapacidades en esta área crítica de la anatomía humana. A través de este análisis, se ha destacado varios aspectos clave que subrayan la importancia y el impacto potencial de esta tecnología.

La rehabilitación de mano tradicional enfrenta desafíos considerables en términos de eficacia, accesibilidad y motivación del paciente. Los exoesqueletos de rehabilitación de mano abordan estos problemas al aprovechar la precisión de los sensores de movimiento avanzados, la inteligencia artificial y la realidad virtual para proporcionar una experiencia de rehabilitación más efectiva y motivadora. Esto se traduce en una recuperación más rápida y, en última instancia, en una mejora significativa en la calidad de vida de los pacientes.



La inclusión de interfaces cerebro-computadora y la tele-rehabilitación amplían aún más el alcance de esta tecnología, permitiendo que pacientes con discapacidades graves o que viven en áreas remotas accedan a la rehabilitación de mano especializada. Esto tiene el potencial de democratizar el acceso a la atención médica y mejorar la vida de muchas personas en todo el mundo.

Conflictos de intereses

Los autores no poseen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Rosario Magdalena Romero Castro, Gema Monserrate Conforme Cedeño
2. Curación de datos: Jhon Jairo Silva Gorozabel, Carmen Argentina Álvarez Vásquez
3. Análisis formal: Rosario Magdalena Romero Castro, Gema Monserrate Conforme Cedeño
4. Investigación: Rosario Magdalena Romero Castro, Jhon Jairo Silva Gorozabel, Carmen Argentina Álvarez Vásquez
5. Metodología: Gema Monserrate Conforme Cedeño, Jhon Jairo Silva Gorozabel
6. Administración del proyecto: Rosario Magdalena Romero Castro
7. Software: Carmen Argentina Álvarez Vásquez
8. Supervisión: Rosario Magdalena Romero Castro
9. Validación: Rosario Magdalena Romero Castro, Gema Monserrate Conforme Cedeño
10. Visualización: Jhon Jairo Silva Gorozabel, Carmen Argentina Álvarez Vásquez
11. Redacción – borrador original: Rosario Magdalena Romero Castro, Gema Monserrate Conforme Cedeño, Jhon Jairo Silva Gorozabel, Carmen Argentina Álvarez Vásquez
12. Redacción – revisión y edición: Rosario Magdalena Romero Castro, Gema Monserrate Conforme Cedeño, Jhon Jairo Silva Gorozabel, Carmen Argentina Álvarez Vásquez

Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento externa.

Referencias

Wang J., Li J., Zhang Y., Wang S. Design of an exoskeleton for index finger rehabilitation. Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE-EMBS, Minneapolis, USA.2009).



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Belter JT and Dollar AM. 2011. Performance characteristics of anthropomorphic prosthetic hands. International Conference on Rehabilitation Robotics (June)
- Wege A., Kondak K., Hommel G. Mechanical design and motion control of a hand exoskeleton for rehabilitation. Proceedings of the International IEEE Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Canada, 2005.
- Shields B. L., Main J.A., Peterson S.W., Strauss A.M. 1997. An anthropomorphic hand exoskeleton to prevent astronaut hand fatigue during extravehicular activities. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems And Humans, 27 (5), 668673.
- Koyama T., Yamano I., Takemura K., Maeno T. Multi-fingered exoskeleton haptic device using passive force feedback for dexterous teleoperation. Intl. Conference of Intelligent Robots and Systems, Switzerland, 2002.
- Stergiopoulos P., Moreau G., Ammi M and, Fuchs P. 2003. A Framework for the Haptic Rendering of the Human Hand. In Proceedings of HAPTICS.
- Ouellette E.A, McAuliffe J.A., Caneiro R. 1992. Partial-Hand Amputations: Surgical Principles. Atlas of Limb Prosthetics: Surgical, Prosthetic, and Rehabilitation Principles (Chapter 7A).

