

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

**Universidad Peruana Cayetano Heredia - Pontificia**

**Universidad Católica del Perú**



**Facultad De Ciencias E Ingeniería**

**Ingeniería Biomédica**

**Cuarto entregable**

**“Ventajas y desventajas de los productos existentes”**

**Integrantes:**

Rodríguez Solano, Milagros Mariajose  
Romani León, Leonardo  
Romero Guerrero, Gabriel  
Salas Cano, Rodrigo Emiliano  
Sánchez Guevara, Ady Sebastián  
Seijas Rojas, Camila Andrea

**Cuarto ciclo**

**Profesores:**

Miguel Rogger Hoyos Alvitez  
Marco Mugaburu Celi  
Shirley Pahuachon Nuñez  
**Fecha de entrega:** 16/09/2025

### **1. Ficha de la enfermedad:**

- **Nombre de la enfermedad:** Hemiplejía derecha (debido a ACV)
- **Sistema afectado:** Principalmente neurológico, también el sistema musculoesquelético y la comunicación (por afectación motora y del habla) [1], [2].
- **Breve descripción anatómica/fisiológica:** El ACV produce una interrupción del flujo sanguíneo cerebral (isquemia o hemorragia), ello causa daño en las áreas motoras del cerebro. Esto causa parálisis (hemiplejia) en el lado opuesto del cuerpo, con atrofia muscular, cambios en fibras musculares y alteraciones en la conectividad cerebral. [1], [2]

### **2. Factores y análisis de la enfermedad:**

- Factores de riesgo principales: Factores de riesgo de la hemiplejia son hipertensión, diabetes, dislipidemia, tabaquismo, edad avanzada, antecedentes cardiovasculares, sexo femenino y comorbilidades. [3] Para el caso del paciente se produjo por un ACV hemorrágico.
- Manifestaciones clínicas más relevantes: Parálisis de un hemicuerpo (derecho en este caso), debilidad muscular, espasticidad, alteraciones del habla, dolor en el área atrofiada, disfunción respiratoria y dependencia funcional. [1], [2], [3]
- Breve nota sobre el impacto funcional en la vida diaria: Alta dependencia para actividades básicas (AVD), movilidad limitada, alteración en la comunicación y calidad de vida reducida. La hemiplejia genera pérdida de autonomía, sensación de incompetencia y dificultades emocionales. [4]

### **3. Prevención, diagnóstico, tratamiento y monitoreo:**

- **Prevención:** Control de factores de riesgo (presión arterial, glucosa, lípidos), dieta saludable, ejercicio y abandono del tabaco. [3]
  - **Diagnóstico:** Se observa la debilidad de los músculos dependientes del nivel afectado y la de los dependientes de los niveles inferiores ipsilateralmente, sin debilidad de los dependientes de niveles superiores. Según los signos que presente el paciente el área de la afección varía. Sin embargo hay que recordar que diversas enfermedades, como por ejemplo la esclerosis múltiple, pueden presentarse con lesiones en varias localizaciones, con lo que debe confirmarse que el resto de signos y síntomas hallados son compatibles con la localización sospechada en un primer momento y que se explican por una única lesión.[5]
  - **Tratamiento (farmacológico, quirúrgico, rehabilitación):**
    - **Farmacológico:** trombolíticos (en ACV isquémico agudo), anticoagulantes, control de comorbilidades. [6]
    - **Quirúrgico:** trombectomía mecánica en casos seleccionados.[6]
    - **Rehabilitación:** fisioterapia, terapia ocupacional, terapia del habla, técnicas neurodesarrolladoras, terapia de imagen motora, estimulación eléctrica, entrenamiento respiratorio y uso de toxina botulínica para espasticidad.[1], [2]
  - **Monitoreo :** Seguimiento clínico periódico, escalas funcionales, pruebas de imagen y evaluación de complicaciones (dolor, infecciones, caídas). [6]
4. Reflexión ingenieril (máx. 1/2 página)
- Identificar un problema concreto donde un dispositivo o tecnología biomédica pueda aportar (ejemplo: monitorización, movilidad, comunicación):  
Para este caso se quiere tratar la movilidad o marcha del paciente con hemiplejia.

### **NOTA:**

- Si bien la enfermedad del caso es el ACV hemorrágico, se decidió tratar la ficha sobre la hemiplejia, ya que los problemas que tiene la paciente son causadas por la hemiplejia post-ACV hemorrágico. Así, como el objetivo de la ficha de la enfermedad es conocer el

problema y los malestares de la paciente son producidas por la hemiplejía, en este entregable se trató esta enfermedad en énfasis.

**Referencias:**

- [1] Huang, J., Ji, J., Liang, C., Zhang, Y., Sun, H., Yan, Y., & Xing, X., “Effects of physical therapy-based rehabilitation on recovery of upper limb motor function after stroke in adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials.”, *Ann. Palliat. Med.*, vol. 11, núm. 2, pp. 521–531, 2021, doi: <https://doi.org/10.21037/apm-21-3710>.
- [2] Li, S., Francisco, G., & Zhou, P., “Post-stroke Hemiplegic Gait: New Perspective and Insights.”, *Front. Physiol.*, vol. 9, 2018, doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01021>.
- [3] Anwer, S., & Alghadir, A., “Incidence, Prevalence, and Risk Factors of Hemiplegic Shoulder Pain: A Systematic Review.”, *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, vol. 17, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17144962>.
- [4] Gavesh Kumar Vaishnav; Janardan Patra., “Comparison of Quality of Life Between Right and Left Hemiplegic Stroke Population: A Cross-Sectional Study.”, *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, vol. 10, núm. 5, pp. 337–343, may 2025, doi: <https://doi.org/10.38124/ijisrt/25may170>.
- [5] I. Bilbao Villabeitia, “Protocolo diagnóstico de la hemiparesia y la hemiplejía”, *Medicine (Baltimore)*, vol. 9, núm. 78, pp. 5033–5035, 2007.
- [6] Navarrete, K., & González, C., “Hemiplegia in acute ischemic stroke: A comprehensive review of case studies and the role of intravenous thrombolysis and mechanical thrombectomy.”, *Ibrain*, vol. 10, pp. 59–68, 2024, doi: <https://doi.org/10.1002/ibra.12146>.

## **ENTREGABLE**

### **1. Identificación de la necesidad:**

La paciente presenta limitaciones significativas en la independencia de su marcha y en la realización de actividades de la vida diaria. Debido al ACV, presenta hemiplejía derecha que mantiene su mano en flexión permanente, lo que sugiere la presencia de espasticidad y dificulta un patrón correcto de la marcha, esto puede hacer que su marcha sea más lenta y tenga mayores dificultades. Según el caso clínico, la paciente utiliza un bastón de cuatro puntos para desplazarse; sin embargo, al depender de su mano izquierda para sostenerlo mientras la derecha permanece inmovilizada, su autonomía se ve comprometida. Esto la obliga a soltar el bastón para realizar cualquier actividad con la mano funcional, incrementando el riesgo de caídas por falta de equilibrio y por ende, se limita su autonomía. Por ello, decidimos centrar la intervención en la mejora de la marcha, con el fin de optimizar su movilidad, promover mayor autonomía y prevenir complicaciones secundarias derivadas de un patrón de marcha alterado.

### **2. Selección de tecnologías (Estado del arte):**

#### **2.1. ReStore Exo Suit**

**Institución responsable:** Life Ward - Página web: <https://golifeward.com>

**Descripción:** ReStore es un exoesqueleto robótico blando que ayuda con la flexión plantar y dorsiflexión durante la marcha, está pensado como un dispositivo que se utilice en sesiones de rehabilitación. El progreso y retroalimentación, se realizan a través de una aplicación para celular. Se realizaron ensayos clínicos y se evidenció su funcionamiento adecuado [1], [2].

#### **Ventajas:**

- Versátil: Se adapta al paciente y puede enfocarse en divergentes etapas de la marcha.
- Fácil de transportar.
- Los datos se recopilan en una aplicación, permite ver el progreso del paciente.

#### **Desventajas:**

- Debe ser utilizado solo bajo supervisión de un fisioterapeuta autorizado, depende de los centros de rehabilitación.



Fig 1. Componentes del ReStore Exo Suit [2]

## 2.2 HAL Lower Limb (HAL-ML05):

**Institución responsable:** Cyberdyne care robotics - página web: <https://www.cyberdyne.eu/en/>

**Descripción:** Es un dispositivo neurológico (exoesqueleto híbrido - rígido) que ayuda a mejorar la actividad muscular de miembros inferiores paréticos o paralizados. Se utiliza durante las sesiones de rehabilitación y está pensado para el entrenamiento en cinta rodante con soporte de peso corporal (BWSTT) [3], [4].

### Ventajas:

- Demostró gran eficacia al utilizarse con el sistema BWSTT en comparación con otros métodos convencionales.
- Promueve la neuroplasticidad, y da soporte al lado afectado con hemiplejia como al que no la tiene.
- Opción para integrar dispositivos auxiliares que mejoren el seguimiento y monitoreo del paciente (Monitor HAL).

### Desventajas:

- Tiene que utilizarse únicamente bajo supervisión de personal capacitado y un fisioterapeuta en lugares acondicionados.
- No está disponible en Perú.
- Dificultad para su traslado (mayor rigidez).



Fig. 2. HAL Lower Limb (HAL-ML05) [3]



Fig. 3 Monitor HAL [3]

### Referencias:

- [1] ReWalk Robotics, *ReStore Exo-Suit: Info Packet for Clinicians*, Marlborough, MA, USA: ReWalk Robotics, Rev. 02, Mar. 2019. [Online]. Available: [https://rewalk.com/wp-content/uploads/2021/03/ReStore-Exo-Suit\\_Info-Packet-for-Clinicians-v2.pdf](https://rewalk.com/wp-content/uploads/2021/03/ReStore-Exo-Suit_Info-Packet-for-Clinicians-v2.pdf).
- [2] L. N. Awad, A. Esquenazi, G. E. Francisco, K. J. Nolan, A. Jayaraman et al., “The ReWalk ReStore™ soft robotic exosuit: a multi-site clinical trial of the safety, reliability, and feasibility of exosuit-augmented post-stroke gait rehabilitation,” *J. NeuroEng. Rehabil.*, vol. 17, no. 1, p. 80, 18-Jun-2020, doi: 10.1186/s12984-020-00702-5.
- [3] Cyberdyne Care Robotics GmbH, “HAL Lower Limb (HAL-ML05): Medical Device,” *Cyberdyne – Products – Medical Device*, Bochum, Germany. [Online]. Available: <https://www.cyberdyne.eu/en/products/medical-device/hal-limb>.

[4] M. Sczesny-Kaiser, R. Trost, M. Aach, T. A. Schildhauer, P. Schwenkreis, M. Tegenthoff, “*A randomized and controlled crossover study investigating the improvement of walking and posture functions in chronic stroke patients using HAL exoskeleton - The HALESTRO Study (HAL-Exoskeleton STROke Study)*,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 13, art. 1299, 29 Mar. 2019, doi: 10.3389/fnins.2019.00259.

## 2.3 R-Gait:

El R-Gait es un robot diseñado para ayudar a las personas a volver a caminar de una manera lo más natural posible. Sirve para quienes han tenido problemas neurológicos, como un derrame cerebral o una lesión de la médula espinal. Funciona con unas placas especiales para los pies que imitan el impulso que damos con los dedos al caminar. Además, deja que la cadera se mueva con más libertad, lo que hace que la marcha sea mucho más parecida a la de una persona sana. Es especialmente útil para niños y adultos que ya pasaron la primera etapa de su recuperación y necesitan una ayuda más avanzada para rehabilitarse [1][2].

### Especificaciones técnicas:

- Altura mínima del usuario: 80 cm.
- Sesión típica: entrenamiento de marcha con muchas repeticiones (hasta 1500 pasos por sesión).
- Biofeedback en tiempo real: posibilidad de ver el patrón de marcha, corregir desalineaciones, guardar reportes de marcha.
- Costo: \$310,557



Fig 4. R-Gait [2]

## 2.4 Fesia Walk:

El Fesia Walk es un dispositivo pequeño y fácil de usar que ayuda a las personas que tienen dificultades para caminar, especialmente si no pueden levantar o mover bien el pie. Usa estimulación eléctrica suave para enviar señales a los músculos de la pierna y el pie, lo que ayuda a controlarlos y colocarlos correctamente al caminar. El sistema incluye una prenda de tela, unos sensores y un programa de computadora, y se puede usar tanto en terapias en clínicas como en la casa, lo que permite a los pacientes practicar de forma constante para mejorar su movilidad.[3][4][5]

### Especificaciones técnicas:

- Electrodo multicampo: tiene 16 cátodos (campos de salida) y algunos ánodos, lo que permite activar distintas zonas para estimular diferentes músculos con selectividad.
- Sensor de movimiento (inercial): opcional en algunas versiones, detecta fases de la marcha (contacto, despegue) y ayuda para que la estimulación se aplique en el momento justo.
- Dimensiones y peso del estimulador: aproximadamente  $26 \times 52 \times 76$  mm, peso: 91 gramos.
- Temperaturas de operación: entre  $5^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$ . Condiciones ambientales permisibles bastante estándar para uso clínico/de ambulación.
- Protección IP 22 (protección básica contra objetos sólidos  $>12$  mm y gotas de agua verticales; no sumergible).
- Costo: se solicita cotización con la empresa.



Fig 5. Componentes Fesia Walk [3]

### Referencias:

- [1] Calista Medical GmbH, “R-Gait – Restoring Gait after Neurological Diagnoses in

Adults and Children,” Calista Medical, Frauenfeld, Suiza. [En línea]. Disponible en:

<https://www.calistamedical.ch/en/produkt/r-gait/>

[2] BTL Industries, “R-Gait,” BTL Industries, [En línea]. Disponible en:

<https://www.btlnet.es/r-gait>

[3] Fesia Technology, “Fesia Walk,” Fesia Technology, San Sebastián, España. [En línea]. Disponible en: <https://fesiatechnology.com/fesia-walk/>

[4] Fesia Technology, *Instructions for Use: Fesia Walk*, versión 6.0, octubre 2022, Donostia / San Sebastián, España. [En línea]. Disponible en:

[https://www.alfimed.se/Alfimed/Fesia/PDF%20Files/FesiaWalk\\_IFU\\_en\\_r6.pdf](https://www.alfimed.se/Alfimed/Fesia/PDF%20Files/FesiaWalk_IFU_en_r6.pdf)

[5] Fesia Technology, Wearable Technology for Neural Recovery, presentación corporativa en MEDICA 2024, Düsseldorf, Alemania, 2024. [En línea]. Disponible en formato PDF:

<https://www.medica.de/vis-content/event-medcom2024.MEDICA/exh-medcom2024.3002080/MEDICA-2024-Fesia-Technology-S.L.-Paper-medcom2024.3002080-We2B-BuDxTeGYvpxyrZGSpw.pdf>

- 5. Transcutaneous spinal cord stimulation (tSCS):

**Nombre del artículo:** Noninvasive spinal stimulation improves walking in chronic stroke survivors: a proof-of-concept case series.

**Institución responsable:** National Center for Biotechnology Information (NCBI).

**Breve descripción funcional:** La estimulación eléctrica transcutánea de la médula espinal (tSCS) es una técnica no invasiva que aplica impulsos eléctricos a través de electrodos superficiales colocados en la piel sobre la columna. En pacientes post-ACV, se usa para modular circuitos espinales y mejorar la plasticidad neuro-muscular. Se integra como complemento de la fisioterapia convencional, con el objetivo de mejorar la fuerza, la coordinación y la capacidad de marcha. [1]

**Ventajas:**

-Es una alternativa menos invasiva que la estimulación epidural, evitando cirugía y complicaciones médicas.

-De los 4 participantes del grupo experimental todos mejoraron la simetría de la longitud de paso después del entrenamiento (post-tSCS), lo que indica una efectividad considerable.

**Desventajas:**

-Evidencia limitada, aunque los resultados son prometedores estos solo son estudios piloto con pocos pacientes, haría falta ensayos clínicos a gran escala para determinar si es útil o no la técnica.

-Aunque no requiera cirugía, se necesita un personal capacitado para usarlo.

-No todos los pacientes responden de la misma manera a la misma intensidad de los electrodos, esto debido a la variabilidad neurológica del ACV.

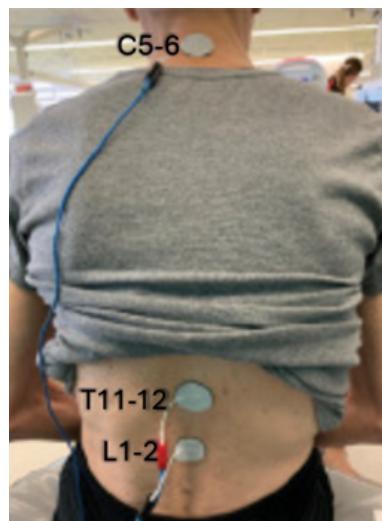


Fig. 6. tSCS administrada a través de electrodos [1]

[1] Y. Moon *et al.*, «Noninvasive spinal stimulation improves walking in chronic stroke survivors: a proof-of-concept case series», *Biomed Eng Online*, vol. 23, p. 38, abr. 2024, doi: [10.1186/s12938-024-01231-1](https://doi.org/10.1186/s12938-024-01231-1).

- **6. Powered ankle-foot orthosis (AFO):**

**Nombre del artículo:** The effect of a powered ankle foot orthosis on walking in a stroke subject: a case study.

**Institución:** National Center of Biotechnology (NCBI)

**Breve descripción funcional:** Este estudio evaluó cómo un paciente post-ACV con marcha deteriorada (particularmente “foot drop” o caída del pie) se comportaba al caminar con diferentes ortesis de tobillo-pie (AFO): una ortesis motorizada (powered AFO), una ortesis de resorte posterior de pierna (“posterior leg spring”) y una ortesis de carbono. Se compararon parámetros cinemáticos y cinéticos al caminar con cada una, y sin ortesis. La ortesis motorizada provee asistencia al movimiento del tobillo, contrariamente a las otras más pasivas. [1]

**Ventajas:**

-La ortesis motorizada aumentó los momentos articulares en tobillo, rodilla y cadera, lo que implica mejor capacidad para generar fuerzas necesarias para la marcha.

-Mejora en capacidades funcionales: al aliviar en parte el “foot drop”, se mejora la elevación del pie durante la fase de swing, lo cual puede reducir tropiezos y aumentar seguridad.

**Desventajas:**

-Una ortesis motorizada generalmente implica mayor complejidad técnica, posible mantenimiento, necesidad de baterías o motores, lo que puede aumentar el costo del producto.



Fig 7. powered AFO [1]

[1] A. Pourghasem, I. E. Takamjani, M. T. Karimi, M. Kamali, M. Jannesari, y I. Salafian, «The effect of a powered ankle foot orthosis on walking in a stroke subject: a case study», *J Phys Ther Sci*, vol. 28, n.º 11, pp. 3236-3240, nov. 2016, doi: [10.1589/jpts.28.3236](https://doi.org/10.1589/jpts.28.3236).

**Tecnología o dispositivo 7: HERO (Hand Extension Robot Orthosis Grip Glove)**

## **1. Identificación de la necesidad: necesidad crítica o prioritaria que atiende el dispositivo**

Las personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV) o una lesión medular espinal suelen presentar limitaciones severas en la movilidad y fuerza de la mano, como la incapacidad de abrir o cerrar los dedos, lo que impide realizar tareas básicas de la vida diaria (alimentarse, vestirse, asearse, manipular objetos). Estas limitaciones generan dependencia, pérdida de autonomía y disminución en la calidad de vida.

El dispositivo HERO (Hand Extension Robot Orthosis Grip Glove) busca responder a esta necesidad crítica: recuperar la función de la mano y fomentar su uso en actividades cotidianas, tanto en clínica como en el hogar, ofreciendo soporte activo para abrir, cerrar y manipular objetos. Al hacerlo, no solo facilita la rehabilitación intensiva y orientada a metas, sino que también promueve la independencia funcional del paciente y su participación en la vida diaria, reduciendo el riesgo de abandono del uso de la mano afectada y las complicaciones asociadas (espasticidad, dolor, compensaciones posturales).

## **2. Análisis del dispositivo**

- **Nombre del artículo:** *Integrating hand exoskeletons into goal-oriented clinic and home stroke and spinal cord injury rehabilitation*
- **Nombre del dispositivo:** *Hand Extension Robot Orthosis Grip Glove (HERO)*
- **Autores / instituciones responsables:** Aaron Yorkewich, Sara Ortega, José Sánchez, Rosalie H. Wang y Etienne Burdet. Participaron el Imperial College London (Reino Unido), el Centro Europeo de Neurociencias (España) y la University of Toronto (Canadá).

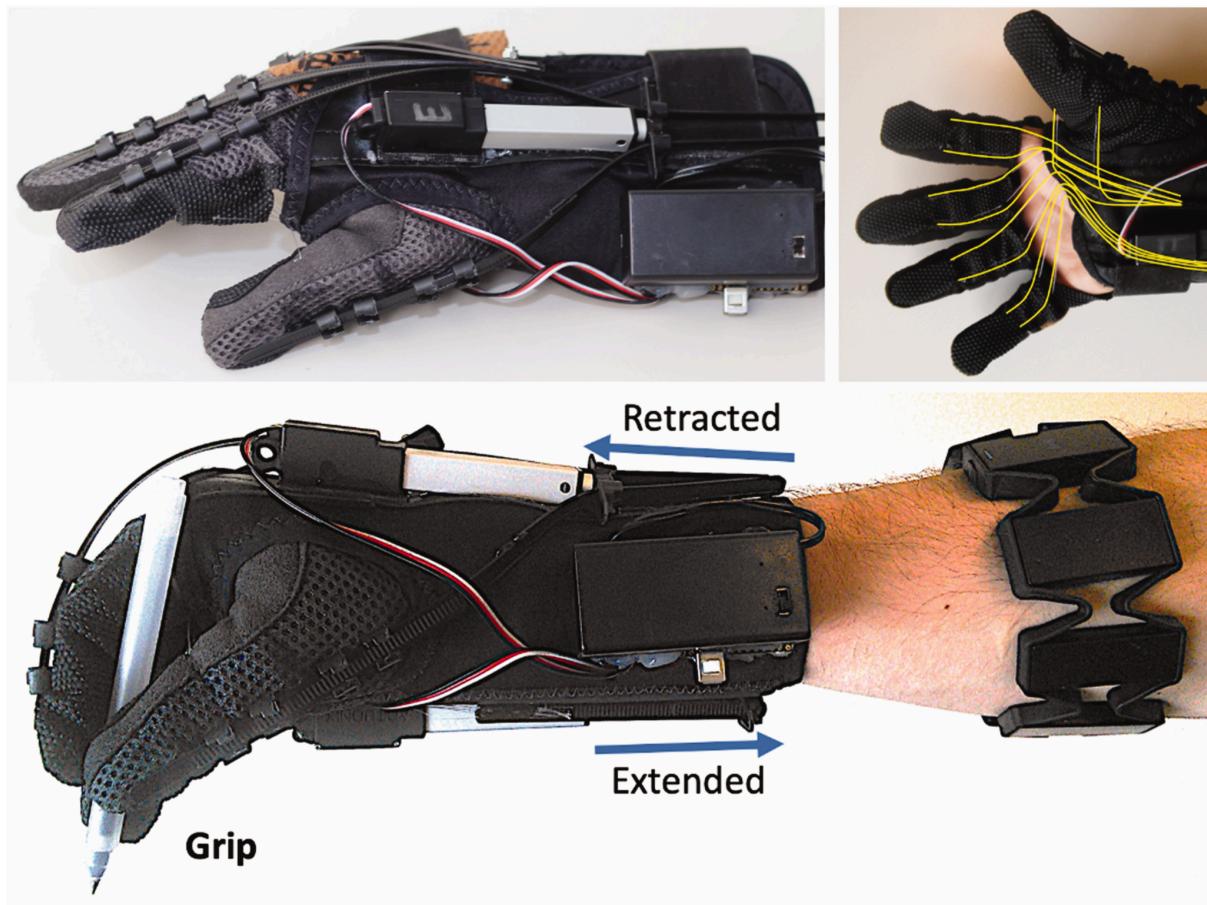


Fig. 1. HERO hand exoskeleton showing dorsal and palmar actuators [Adapted from A. Yurkewich \*et al.\*, “Integrating hand exoskeletons into goal-oriented clinic and home stroke and spinal cord injury rehabilitation,” \*J. Rehabil. Assist. Technol. Eng.\* , vol. 9, pp. 1–12, Sep. 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/20556683221130970>].

- **Descripción funcional del dispositivo:**

HERO es un exoesqueleto portátil y no anclado que asiste los movimientos de flexión y extensión de los cinco dedos, además de la abducción, aducción y oposición del pulgar. Está integrado en una órtesis de muñeca ligera con actuadores y sensores, y puede activarse mediante un botón o por movimientos rápidos del brazo detectados por un sensor inercial. **Su función es facilitar la apertura, cierre y manipulación de objetos en actividades de rehabilitación y vida diaria, tanto en clínica como en casa.**

- **Ventajas:**

- Portátil, ligero y fácil de transportar.
- Permite a pacientes con afectación severa realizar tareas funcionales y bimanuales.
- Incrementa la cantidad de repeticiones en terapia, favoreciendo la neuroplasticidad.
- Mejora la independencia y motiva al paciente.

- Recibió valoraciones positivas de pacientes y terapeutas en usabilidad y satisfacción.
- Bajo costo comparado con otros robots de rehabilitación.

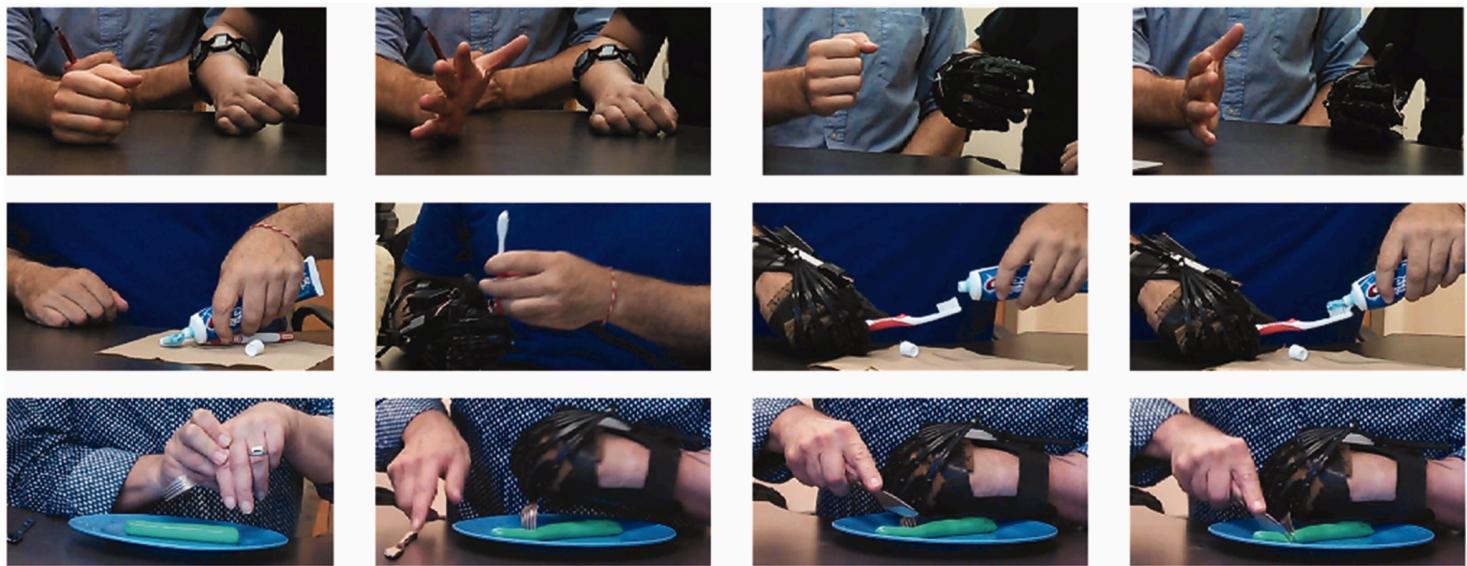


Fig. 2. Daily living tasks performed without and with My-HERO. [Adapted from A. Yurkewich *et al.*, “Myoelectric untethered robotic glove enhances hand function and performance on daily living tasks after stroke,” *J. Rehabil. Assist. Technol. Eng.*, vol. 7, pp. 1–17, Dec. 2020. Available: <https://doi.org/10.1177/2055668320964050>]

- **Desventajas:**

- Dificultad para colocarlo en manos muy rígidas o con espasticidad.
- Fuerza de agarre limitada en ciertos objetos.
- Control por aceleración o botón a veces poco sincronizado con la intención del usuario.
- No es resistente al agua, batería con duración corta.
- Estética y confort mejorables (ej. ajuste del pulgar, marcas en la piel).
- Requiere apoyo del terapeuta o cuidador en algunos casos.

### 3. Reflexión final

#### 1. Mejoras para futuros prototipos:

- Aumentar la fuerza y precisión del agarre.
- Incorporar control más natural mediante electromiografía o sensores de intención de movimiento.
- Mejorar ergonomía y facilidad de colocación, incluso en manos espásticas.
- Incrementar la duración de la batería y hacerlo resistente al agua.
- Integrar retroalimentación sensorial o háptica para enriquecer la percepción táctil.

## 2. Necesidades aún no suficientemente cubiertas:

- El dispositivo ayuda al movimiento de la mano, pero no aborda de forma completa la recuperación de la movilidad del brazo y el hombro, esenciales para la funcionalidad global del miembro superior.
- No sustituye la interacción continua con el terapeuta ni garantiza por sí mismo una recuperación prolongada.
- Aún falta cubrir de manera más robusta la accesibilidad universal (adaptaciones para diferentes niveles de severidad, tamaños de mano y contextos socioeconómicos).

### **Referencia (artículo utilizado):**

[1] A. Yurkewich, S. Ortega, J. Sánchez, R. H. Wang, and E. Burdet, "Integrating hand exoskeletons into goal-oriented clinic and home stroke and spinal cord injury rehabilitation," *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, vol. 9, pp. 1–11, 2022, doi: 10.1177/20556683221130970.

## **Tecnología o dispositivo 8: Hand Exoskeleton System (HES)**

### **1. Identificación de la necesidad: necesidad crítica o prioritaria que atiende el dispositivo**

Las personas con discapacidades motoras de la mano —por causas neurológicas como lesión medular, distrofias musculares o enfermedades neuromusculares— suelen perder fuerza, destreza y capacidad de realizar actividades básicas de la vida diaria (alimentarse, asearse, manipular objetos). Esta pérdida de función limita su independencia y calidad de vida, además de incrementar la carga de cuidadores y sistemas de salud.

El dispositivo Hand Exoskeleton System (HES) busca atender esta necesidad crítica: restaurar la función de prensión y apertura de la mano en actividades de la vida diaria y ofrecer rehabilitación en el hogar o mediante telerehabilitación supervisada. Se plantea como una herramienta portátil, usable y accesible que permite a los pacientes ejercitarse y utilizar la mano de manera más natural, contribuyendo tanto a la asistencia cotidiana como a la recuperación funcional.

## 2. Análisis del dispositivo

- **Nombre del artículo:** *Wearable Robots: An Original Mechatronic Design of a Hand Exoskeleton for Assistive and Rehabilitative Purposes*
- **Nombre del dispositivo:** *Hand Exoskeleton System (HES)*
- **Autores / instituciones responsables:** Secciani, Brogi, Pagliai, Buonamici, Gerli, Vannetti, Bianchini, Volpe y Ridolfi. Instituciones principales: Universidad de Florencia (Italia), Fundación Don Carlo Gnocchi (Italia) y Consejo Nacional de Investigación – Instituto de Sistemas Complejos (Italia).

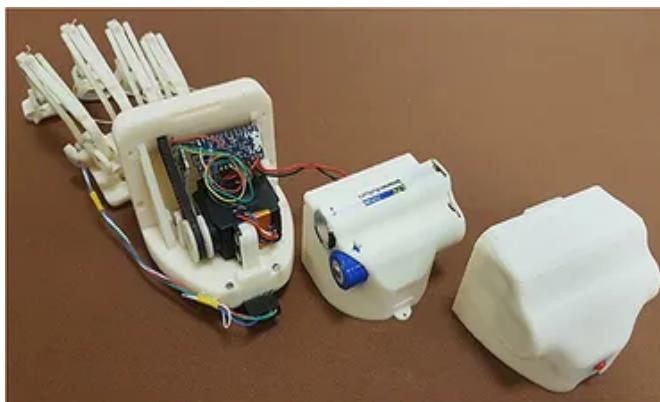


Fig. 1. Vista explotada del nuevo módulo de motor con sus tres capas. [Adapted from N. Secciani et al., “Wearable Robots,” *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 15, Oct. 2021. Available: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.750385>]



Fig. 2. Comparación de tareas de agarre con y sin el HES durante la prueba ARAT. [Adapted from N. Secciani et al., “Wearable Robots,” *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 15, Oct. 2021. Available: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.750385>]

- **Descripción funcional del dispositivo:**

El HES es un exoesqueleto robótico de mano totalmente portátil, ergonómico y controlado mediante señales electromiográficas de superficie (sEMG). Detecta la intención de movimiento del usuario (abrir/cerrar la mano) y asiste mecánicamente a través de un sistema de transmisión por cables y un único actuador. Puede emplearse para dos fines:

- **Asistencia en actividades de la vida diaria (ADLs):** ayuda al paciente a sujetar, soltar y manipular objetos.
- **Telerehabilitación/Programas de ejercicios en casa:** posibilita realizar ejercicios diseñados por el terapeuta en casa con registro de datos para seguimiento remoto.

- **Ventajas:**

- Portátil, ligero (<550 g) y económico ( $\approx$ 550 €).
- Fácil de usar, con interfaz ergonómica personalizada (férula anatómica en PLA).
- Intuitivo gracias al control por sEMG
- Libre de cables molestos (‘unhethered’)
- Posibilita rehabilitación domiciliaria con monitoreo remoto.
- Permite movimientos de prensión adaptables a diferentes objetos.
- Cumple criterios clave: wearabilidad, comodidad, seguridad, personalización y bajo costo.

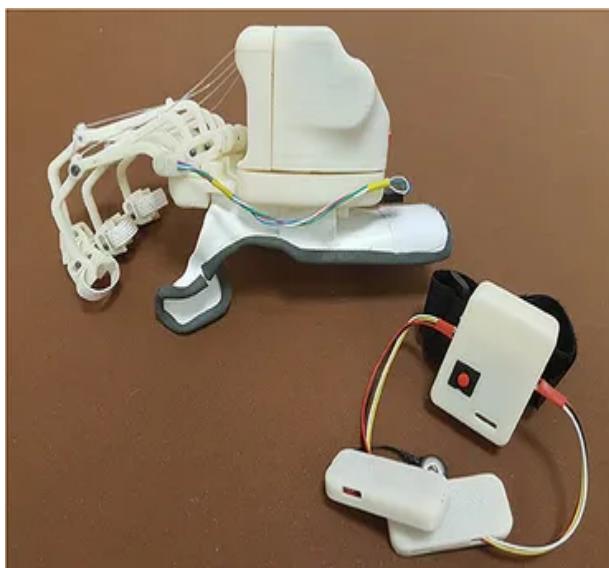


Fig. 3. Arquitectura final del exoesqueleto portátil y completamente usable. [Adapted from N. Secciani et al., “Wearable Robots,” *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 15, Oct. 2021. Available: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.750385>]

- **Desventajas:**

- Actuación activa solamente en apertura; el cierre todavía no está totalmente asistido.
- Falta de mecanismo funcional para el pulgar, lo que limita la destreza fina.
- Movimiento independiente de los dedos aún no implementado.
- Dimensiones que dificultan su uso en espacios reducidos (ej. girar una perilla).
- Distribución de peso mejorable; puede generar incomodidad tras tiempo prolongado.
- Algunos pacientes requieren ayuda para colocarlo y retirarlo.

### 3. Reflexión final

#### Mejoras para futuros prototipos:

- Integrar asistencia tanto para apertura como para cierre de la mano.
- Incorporar un mecanismo funcional para el pulgar y permitir control independiente de los dedos.
- Miniaturizar componentes para mayor ergonomía y reducir peso.
- Optimizar la distribución de masa y permitir articulación libre de la muñeca.
- Mejorar la autonomía energética y robustez del sistema.

#### Necesidades aún no suficientemente cubiertas:

- Recuperación completa de la destreza fina (pinza, manipulación precisa).
- Inclusión de retroalimentación háptica o sensorial que enriquezca la percepción táctil.
- Accesibilidad universal para distintos grados de discapacidad y condiciones clínicas.
- Autonomía plena del paciente: actualmente algunos necesitan asistencia para colocarse el dispositivo.

#### Referencia (artículo utilizado):

[1] L. Secciani, A. Brogi, M. Pagliai, M. Buonamici, F. Gerli, F. Vannetti, E. Bianchini, Y. Volpe, and A. Ridolfi, "Wearable robots: An original mechatronic design of a hand exoskeleton for assistive and rehabilitative purposes," *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 15, pp. 1–16, 2021, doi: 10.3389/fnbot.2021.750385.

### **Tecnología o dispositivo 9: FREE Walk – Exoesqueleto**

**Institución responsable:** FREE Bionics (Taiwán)

- 1. Identificación de la necesidad:** Las personas que han sufrido un accidente cerebrovascular suelen presentar hemiparesia o debilidad marcada en miembros inferiores, lo que limita su capacidad para caminar, mantener el equilibrio y realizar actividades básicas de movilidad. Esta restricción no solo reduce la independencia y calidad de vida, sino que también incrementa la dependencia de cuidadores y los costos en salud. FREE Walk busca atender esta necesidad crítica ofreciendo un entrenamiento asistido, repetitivo y seguro, que facilita la reeducación de la marcha, la recuperación de fuerza y resistencia, y el restablecimiento de la movilidad funcional en etapas tempranas de la rehabilitación.
- 2. Descripción:** FREE Walk es un exoesqueleto robótico rígido diseñado para miembros inferiores en pacientes post-ictus con hemiparesia (<6 meses). Permite entrenar la marcha, ponerse de pie y sentarse, proporcionando asistencia mecánica en cadera y rodillas. Se combina con rehabilitación convencional, integrando hasta 3 sesiones robóticas por semana junto con 2 sesiones tradicionales. Su objetivo es aumentar la fuerza de las piernas, mejorar la movilidad funcional (velocidad, resistencia y equilibrio) y favorecer la independencia. El dispositivo incluye modos de asistencia ajustables y se adapta al nivel de capacidad del paciente, lo que lo hace útil en fases subagudas de la recuperación neurológica.
- 3. Ventajas:**

- Mejora significativa en fuerza de rodilla, velocidad, distancia caminada y calidad de vida respecto a terapia convencional.
- Entrenamiento robótico fue el predictor más fuerte de progreso funcional.
- Uso de pruebas objetivas (dinamometría, 6MWT, TUG) y subjetivas (SF-12).
- No se reportaron eventos adversos, perfil de seguridad favorable.

#### 4. Desventajas:

- Estudio corto (4 semanas) sin seguimiento prolongado.
- Solo aplicable a pacientes con capacidad funcional intermedia (no casos graves o leves extremos).
- Sin cegamiento, riesgo de sesgo.
- Intensidad moderada; beneficios podrían aumentar con programas más largos.
- Limitado al contexto de Taiwán, sin datos de costo ni disponibilidad internacional amplia.



Figura 8. Y.-H. Lee, L.-W. Ko, C.-Y. Hsu, and Y.-Y. Cheng, *Therapeutic Effects of Robotic-Exoskeleton-Assisted Gait Rehabilitation and Predictive Factors of Significant Improvements in Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial*, *Bioengineering*, vol. 10, no. 5, Art. 585, May 2023.

[https://www.mdpi.com/bioengineering/bioengineering-10-00585/article\\_deploy/html/images/bioengineering-10-00585-g002.png](https://www.mdpi.com/bioengineering/bioengineering-10-00585/article_deploy/html/images/bioengineering-10-00585-g002.png).

Referencias:

Y.-H. Lee, L.-W. Ko, C.-Y. Hsu, Y.-Y. Cheng, "Therapeutic Effects of Robotic-Exoskeleton-Assisted Gait Rehabilitation and Predictive Factors of Significant Improvements in Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial," *Bioengineering*, vol. 10, no. 5, Art. 585, May 2023. [https://www.mdpi.com/2306-5354/10/5/585?utm\\_source=](https://www.mdpi.com/2306-5354/10/5/585?utm_source=).

### **Tecnología o dispositivo 10: Powered Hand Exoskeleton (Hand EO)**

**Institución responsable:** Estudio clínico publicado en *Actuators* (MDPI).

**Referencia:** <https://www.mdpi.com/2076-0825/14/2/67>

- 1. Descripción funcional:** El Powered Hand Exoskeleton es un dispositivo portátil y motorizado que asiste la función de prensión en pacientes con ictus crónico. Funciona con **dos actuadores lineales DC (12 V)** que permiten la flexión y extensión de los dedos pulgar, índice y medio, generando un agarre tipo trípode. Su uso se integra en sesiones de rehabilitación de 30 minutos, combinando terapia convencional y asistencia robótica. El objetivo principal es mejorar la función distal de la mano y favorecer la recuperación motora del miembro superior.
- 2. Identificación de la necesidad:** Las personas con ictus crónico suelen presentar pérdida de fuerza, limitaciones en la apertura/cierre de la mano y dificultades en actividades básicas como alimentarse, vestirse o manipular objetos. Esto impacta de forma negativa en su independencia, calidad de vida y genera una elevada carga en cuidadores y sistemas de salud. El Powered Hand Exoskeleton busca responder a esta necesidad crítica mediante la restauración parcial de la función de agarre y la mejora de la destreza manual, constituyéndose como una herramienta accesible para entornos clínicos y potencialmente para programas de telerehabilitación
- 3. Ventajas**
  - Mejora significativa en la función motora de miembro superior medida por FMA-UE, especialmente en movimientos distales.
  - Incremento de la destreza manual evaluada mediante el Box and Block Test.

- Diseño simplificado (actuadores lineales, control de 3 dedos) que facilita su portabilidad, reduce peso y coste.
- Intervención segura, sin reportes de efectos adversos.

#### 4. Desventajas

- No se observaron mejoras significativas en la fuerza de agarre (grip strength).
- El protocolo de uso (2 sesiones por semana durante 8 semanas) puede ser insuficiente para pacientes con afectaciones severas.
- Población heterogénea en el estudio, lo que limita la generalización de resultados.
- Falta de evaluación a largo plazo posterior al programa de 8 semanas.
- Aunque simplificado, aún requiere supervisión y equipamiento específico.

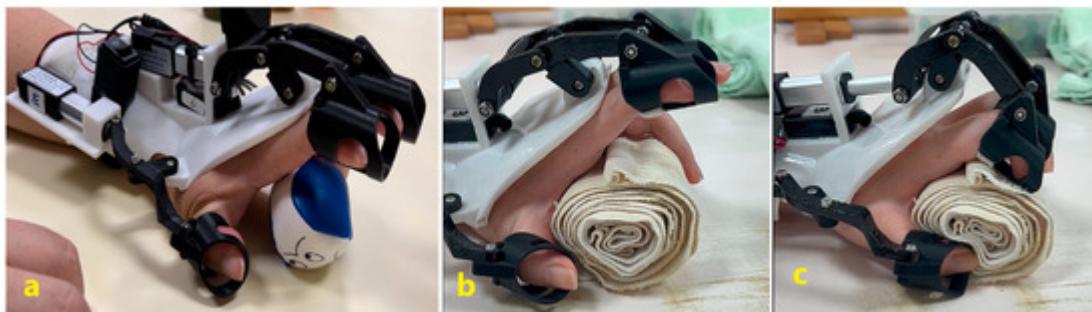


Figura 9. S.-J. Yeh, Y.-C. Wang, W.-C. Fang, S.-C. Huang, and Y.-S. Yang, "Effectiveness of Powered Hand Exoskeleton on Upper Extremity Function in People with Chronic Stroke," *Actuators*, vol. 14, no. 2, Art. 67, Feb.

2025 [https://www.mdpi.com/actuators/actuators-14-00067/article\\_deploy/html/images/actuators-14-00067-g002-550.jpg](https://www.mdpi.com/actuators/actuators-14-00067/article_deploy/html/images/actuators-14-00067-g002-550.jpg).

#### Referencias:

S.-J. Yeh, Y.-C. Wang, W.-C. Fang, S.-C. Huang, and Y.-S. Yang, "Effectiveness of Powered Hand Exoskeleton on Upper Extremity Function in People with Chronic Stroke," *Actuators*, vol. 14, no. 2, Art. 67, Feb. 2025. [https://www.mdpi.com/2076-0825/14/2/67?utm\\_source=...](https://www.mdpi.com/2076-0825/14/2/67?utm_source=...)