

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ -  
UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA -  
INGENIERÍA BIOMÉDICA**



**FUNDAMENTOS DE BIODISEÑO**

**Entregable 4 - Caso Loayza**

**AUTORES:**

Villarreal Mamani, Rosa Isabel  
Alejandro Sebastian Santa Maria La Rosa Sanchez  
Santivañez Portella, Gael Franz  
Torres Castañeda, Ricardo Percy  
Valdivia Pari, Valeria Ivannia  
Vásquez Cruz, Gustavo Alonso

**DOCENTES:**

Juan Manuel Zuñiga

**Grupo 15**

Lima, 13 de septiembre del 2025

---

## IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD:

El paciente Loayza, un ingeniero que sufrió una lesión medular incompleta a nivel C4 de tipo D debido a un impacto de bala en México, presenta ausencia de movilidad en la mano y el brazo izquierdo, movimiento parcial en el brazo derecho y puede caminar con apoyo, lo que conlleva a que tenga una independencia limitada para las actividades de la vida diaria y la posibilidad de que sus músculos de sus miembros superiores se atrofien.

La necesidad prioritaria identificada en este caso es desarrollar una tecnología que brinde soporte y asistencia al miembro superior izquierdo.

Esta prioridad se establece por tres razones principales:

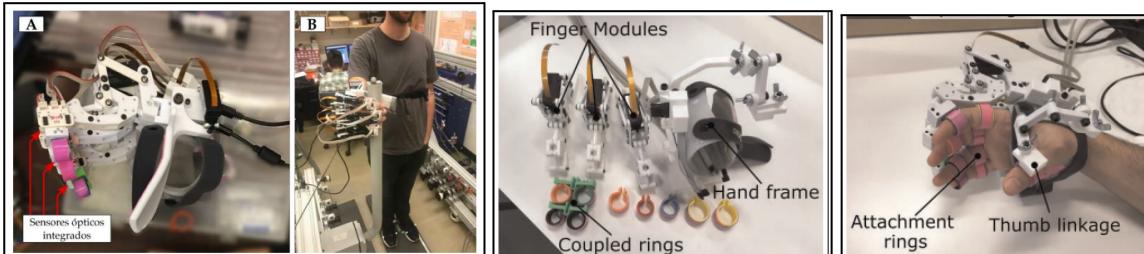
- **Prevenir la atrofia muscular por desuso:** al no contar con movilidad voluntaria en la extremidad superior izquierda, existe un riesgo elevado de pérdida progresiva de masa y fuerza muscular. El dispositivo debe proporcionar movimiento pasivo o asistido que mantenga la activación mecánica de los músculos.
- **Facilitar la adaptación funcional a la marcha asistida:** mediante la inclusión de un sistema que permita cierta flexión de la mano, el paciente podrá utilizar el brazo como apoyo en andadores u otros dispositivos, mejorando la estabilidad y reduciendo el riesgo de caídas.
- **Optimizar la postura y redistribuir el centro de masa:** mediante la incorporación de un sistema de soporte posterior tipo arnés en “8”, fijado a un tubo o estructura dorsal, se busca generar una presión controlada que estabilice el tronco, corrija la alineación postural y redistribuya el centro de masa. Esto permitirá reducir la fatiga durante la marcha asistida y aumentar la seguridad en los desplazamientos.

La elección de esta necesidad se fundamenta en tres aspectos:

- **Prevención a corto plazo:** sin un sistema de asistencia, la inmovilidad prolongada conducirá a atrofia muscular, contracturas y dolor, complicaciones que deterioran la calidad de vida.
- **Seguridad y funcionalidad en la marcha:** la imposibilidad de usar ambos brazos para apoyarse en la deambulación limita la autonomía y aumenta el riesgo de accidentes.
- **Proyección de independencia y calidad de vida:** un soporte que preserve la musculatura y mejore el control postural permitirá que el paciente se mantenga más activo, lo que favorece tanto su autonomía diaria como su futura reinserción social y profesional.

## SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

## DISEÑO Y CONTROL DE UN EXOESQUELETO ROBÓTICO PARA LA REHABILITACIÓN Y ASISTENCIA DE LOS MOVIMIENTOS DE LA MANO.



**Autor, empresa o institución responsable:** Jorge Antonio Díez Pomares, bajo la dirección de Nicolás Manuel García Aracil, de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

**Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):** Este proyecto aborda la dependencia y la reducción de la calidad de vida de personas con déficits de movilidad en la mano y las terapias de rehabilitación convencionales limitadas en repetibilidad, subjetivas en evaluación y costosas. El dispositivo es un exoesqueleto robótico que se coloca en la mano para ayudar a personas con dificultades de movilidad. Su objetivo es permitir terapias de rehabilitación y asistir en actividades diarias. Funciona moviendo los dedos de la mano mediante actuadores lineales y un sistema de barras (mecanismos) que se adaptan a los movimientos naturales de la mano, como la flexión y extensión. Todo esto es controlado por un sistema electrónico que lee sensores EMG y de fuerza que envía órdenes a los motores.

### **Ventajas:**

Destaca su diseño modular que permite adaptarse a manos con formas atípicas y un innovador sistema de fijación "snap-in" que facilita una instalación rápida y segura. La integración de un nuevo sensor de fuerza óptico para ver posibilidad de movimiento. Además, en casos de que no haya movilidad alguna, el sistema integra una interfaz basada en captura de movimiento (Mocap), en particular con la "Terapia Espejo" (TE), donde si el usuario tiene movilidad en la otra mano (la no afectada), el exoesqueleto en la mano inmóvil imita los movimientos capturados por un guante de captura de movimiento que el usuario lleva en su mano sana. Esto permite implicar activamente la mano afectada en el ejercicio, aunque el paciente no pueda realizar ningún movimiento por sí mismo. Además, mejora la motivación, la adherencia a la terapia, la independencia del usuario y el control postural. Las pruebas iniciales han mostrado un error de seguimiento reducido y alta tasa de acierto, con un tiempo de instalación relativamente corto y buena adaptabilidad a diferentes tamaños de mano.

### **Desventajas:**

El prototipo actual presenta un movimiento simplificado del pulgar y una actuación limitada a las falanges medial y proximal, lo que reduce la variedad de agarres posibles. Existe una limitación en la velocidad de los actuadores, que puede causar errores de seguimiento si los movimientos son demasiado rápidos, y se han identificado discrepancias entre el modelo teórico del sensor óptico y su comportamiento real debido a simplificaciones y la histéresis de los materiales, lo que afecta la precisión.

### **Reflexión final:**

#### **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

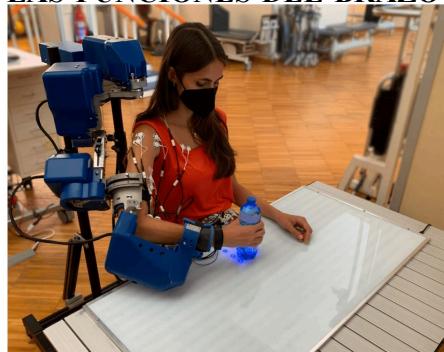
Perfeccionaría el modelo teórico del sensor óptico, el mecanismo del pulgar para dar mayor grado de libertad, actuadores a medida y programaría modelos y protocolos de posiciones específicas para la rehabilitación.

#### **¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?**

Este dispositivo podría ayudar en el movimiento de la mano izquierda con terapias espejos que podría aplicar el mismo paciente con su otra mano, previniendo la atrofia en esa extremidad, sin embargo no se aborda el movimiento del brazo.

**Fuente:** N. García-Aracil, "Diseño y control de exoesqueleto robótico para la rehabilitación y asistencia de los movimientos de la mano," Jul. 15, 2021. <https://dspace.umh.es/handle/11000/27491>

## **AGREE: UN EXOESQUELETO MOTORIZADO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA RESTAURAR LAS FUNCIONES DEL BRAZO**



**Autor, empresa o institución responsable:** desarrollado por el laboratorio WECOBOT del Politecnico di Milano en Italia en colaboración con la Casa di Cura del Policlinico (CCP) de Milán. Los autores principales son Marta Gandolla, Beatrice Luciani, Valeria Longatelli, Peppino Tropea, Agnese Seregni, Massimo Corbo, Francesco Braghin y Alessandra Pedrocchi.

**Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):** AGREE es un exoesqueleto motorizado de cuatro grados de libertad que fue diseñado para dar asistencia en el movimiento de hombros y codos en pacientes con déficits motores generados por lesiones neurológicas. Funciona mediante sensores de fuerza, detectando el intento de movimiento del usuario y ajustando la asistencia de manera inmediata (en tiempo real). Su diseño integral permite ejercicios personalizados como el alcance de objetos o el llevar la mano a la boca (movimientos funcionales), e incluye retroalimentación visual mediante una matriz LED mientras se registran los datos obtenidos. Este sistema complementa el trabajo del terapeuta apoyando en la automatización de tareas repetitivas con precisión y seguridad.

### **Ventajas:**

-Cuenta con un sistema de control unificado que se ajusta a las necesidades del usuario sin requerir modificaciones complejas lo que permitiría su utilización en distintos pacientes. Además, los sensores de fuerza garantizan una interacción segura y adaptable evitando lesiones o movimientos bruscos.

-Los resultados de la investigación mostraron mejoras clínicas en escalas Fugl-Meyer (FM) y Action Research Arm Test (ARAT) moderadas en comparación al grupo control. Se podría inferir que a pesar de que AGREE es efectivo, no ofrece mejoras significativas en relación con métodos tradicionales. Sin embargo, el grupo experimental logró estas mejoras con menor tiempo de práctica por sesión (12.8 min vs 45 min, lo cual indica que el dispositivo tiene potencial y debería ser optimizado para demostrar una mayor eficiencia.

-En cuanto a su uso y accesibilidad, la investigación sugiere que los terapeutas pudieron manejar el AGREE sin ningún problema significativo durante las terapias. Por otro lado, la experiencia del usuario no logra ser totalmente intuitiva según el puntaje SUS de 68.7 obtenido en la evaluación de usabilidad moderada, el cual es un puntaje aceptable para un prototipo inicial.

### **Desventajas:**

-El dispositivo no actúa sobre la mano y la muñeca, lo que limita su aplicabilidad e impacto. Esta es una de las principales preocupaciones para los pacientes que buscan una rehabilitación integral. También, debido a que es un prototipo, tiene problemas de configuración y calibración frecuentes, lo cual aumenta el tiempo destinado a cada sesión de terapia.

-Alta complejidad técnica que implica altos costos de desarrollo y mantenimiento a largo plazo, la dependencia de software y hardware requiere de soporte técnico continuo. El dispositivo muestra resultados equivalentes mas no muestra ventajas claras por encima de los métodos tradicionales, lo que dificulta su justificación económica. Además, los terapeutas necesitan pasar por un periodo de formación para familiarizarse con el dispositivo lo que implica un costo adicional en tiempo y recursos.

### **Reflexión final:**

#### **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

Para pacientes como Loayza, que no tienen movimiento en su mano, es esencial incorporar asistencia para muñeca y mano, de modo que el prototipo permita la flexión asistida de la muñeca para que pueda usar la mano como apoyo. También sería importante incluir un sistema de soporte para la postura al caminar, como un arnés, que le ayude a mejorar su postura y a incrementar su estabilidad.

#### **¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?**

La principal necesidad no cubierta es la asistencia funcional en la mano y muñeca, la cual resulta vital para realizar actividades diarias y para su asistencia en su movilidad/marcha.

**Fuente:** Gandolla, M., Luciani, B., Longatelli, V. et al. AGREE: an upper limb motorized exoskeleton for restoring arm functions: a single-blinded randomized controlled trial. *J NeuroEngineering Rehabil* 22, 134 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01651-7>

## TACT: MANO MIOELÉCTRICA OPEN-SOURCE



**Autor, empresa o institución responsable:** Patrick Slade, Aadeel Akhtar, Mary Nguyen, Timothy Bretl — University of Illinois.

**Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):** Tact es una mano protésica mioeléctrica de código abierto diseñada para ser accesible y reproducible. El objetivo es proporcionar una mano antropomórfica que permita agarre controlado por señales EMG (mioeléctricas) y que pueda fabricarse con técnicas como la impresión 3D y componentes comerciales. Se probó en laboratorio y se publicaron mediciones de desempeño (fuerza, velocidad, precisión de agarre) comparativas frente a manos comerciales.

### Ventajas:

Destaca su carácter open-source, que permite a cualquier laboratorio o clínica reproducirla y adaptarla según las necesidades del paciente, además de contar con documentación detallada sobre diseño mecánico, electrónico y de control. Su rendimiento ha demostrado ser competitivo frente a prótesis comerciales de bajo coste, combinando bajo peso con un control fiable en tareas funcionales básicas. También resulta ventajosa su accesibilidad, ya que puede fabricarse sin necesidad de equipamiento industrial costoso, fomentando la inclusión en entornos con recursos limitados.

### Desventajas:

Su principal limitación radica en que no es un producto clínico certificado, por lo que su uso en rehabilitación directa requiere validaciones adicionales y supervisión especializada. Asimismo, su durabilidad y la fuerza de agarre son más reducidas que en manos prostéticas que ya existen en el mercado, lo que puede restringir su utilidad en actividades que requieren fuerza o resistencia prolongada. Finalmente, para el paciente con lesión medular cervical alta en C4, la ausencia de señales mioeléctricas funcionales en el miembro afectado puede comprometer su control efectivo, reduciendo la aplicabilidad práctica de esta tecnología.

### Reflexión final:

#### **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

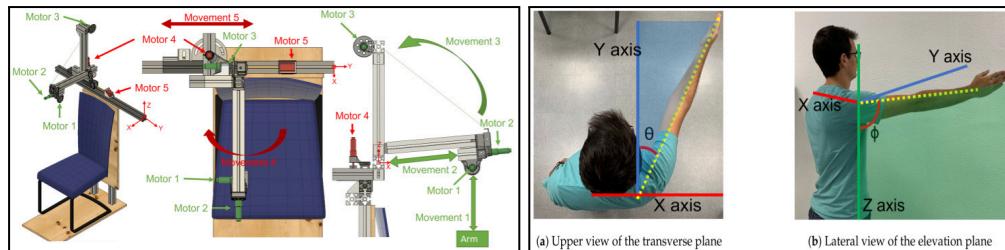
Mejoraría la durabilidad y fuerza de agarre mediante el uso de materiales compuestos más resistentes y actuadores de mayor rendimiento, además de integrar un sistema de sensores de fuerza que optimice el control de la presión. Asimismo, incorporaría modos de control alternativo como interfaces de movimiento ocular, para ampliar la aplicabilidad a usuarios con mínima señal mioeléctrica.

## ¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?

La carencia de una solución open-hardware que ofrezca control alternativo confiable para pacientes sin actividad EMG en el miembro afectado.

**Fuente:** Slade, P., Akhtar, A., Nguyen, M., & Bretl, T. (2015). Tact: Design and performance of an open-source, affordable myoelectric prosthetic hand. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2015.7139817>

## ExoFlex: EXOESQUELETO HÍBRIDO RÍGIDO + BLANDO PARA MIEMBRO SUPERIOR



**Autor, empresa o institución responsable:** Equipo investigador detrás de ExoFlex; estudio publicado en revistas médicas/congreso.

**Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):** ExoFlex es un exoesqueleto híbrido (componentes rígidos y blandos) diseñado para la rehabilitación pasiva del miembro superior, con enfoque en pacientes con movilidad reducida. Se evalúa su usabilidad, aceptabilidad, comodidad y la percepción tanto de pacientes como de clínicos. Está pensado para asistir movimiento pasivo (cuando el usuario no puede mover el brazo por sí mismo) con estructura mecánica que ayuda a mover hombro / codo / brazo, estructurado en sesiones clínicas de rehabilitación.

### Ventajas:

La ventaja de ExoFlex está en su diseño híbrido que combina rigidez para soporte con partes blandas que brindan comodidad y permiten adaptarse mejor al cuerpo, lo que se traduce en una mayor aceptación por parte de pacientes mayores o con sensibilidad; además, su usabilidad ha sido valorada positivamente (alto puntaje en System Usability Scale), lo que indica que los pacientes lo encuentran cómodo, seguro y usable para sesiones terapéuticas. Este tipo de dispositivo puede ayudar a mantener rango de movimiento y prevenir contracturas/atrofia en brazos con movilidad muy limitada, ya que permite intervención incluso cuando la actividad voluntaria es mínima.

### Desventajas:

ExoFlex parece estar limitado a rehabilitación clínica pasiva o asistida ligera; no está diseñado para otorgar fuerza motora significativa, por lo que su capacidad para permitir movimientos funcionales del brazo izquierdo completamente paralizado podría ser limitada. Además, su uso fuera del entorno clínico puede estar comprometido por su tamaño, necesidad de montaje, supervisión profesional, y posiblemente por falta de portabilidad o autonomía si se requiere energía/actuadores. También la evidencia de eficacia funcional a largo plazo en pacientes con lesión medular y brazo completamente inmóvil es escasa, lo que deja incertidumbres en esos casos.

### Reflexión final:

#### ¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?

Potenciaría la fuerza asistida de manera que pueda mover el brazo sin necesidad de intervención totalmente pasiva, incorporar modos híbridos (activo-asistido / voluntario cuando sea posible), mejorar la ligereza y la portabilidad (menor peso total, fuente de energía portátil), y añadir sensores que permitan detectar intención motora residual, fatiga, etc.

## ¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?

Necesidad de un exoesqueleto comercial (o fácilmente adquirible) que proporcione asistencia motora potente, capaz de mover un brazo inmóvil, que sea portátil, usable en casa, con garantías y soporte clínico, y que no dependa exclusivamente de señales voluntarias fuertes para funcionar.

**Fuente:** Alguacil-Diego, I.-M., Cuesta-Gómez, A., Contreras-González, A.-F., Pont-Esteban, D., Cantalejo-Escobar, D., Sánchez-Urán, M. Á., & Ferre, M. (2021). *Validation of a Hybrid Exoskeleton for Upper Limb Rehabilitation. A Preliminary Study*. Sensors, 21(21), 7342. <https://doi.org/10.3390/s21217342>

## EXOESQUELETO REWALK PARA LA DEAMBULACIÓN EN PERSONAS CON LESIÓN MEDULAR: ESTUDIO PILOTO

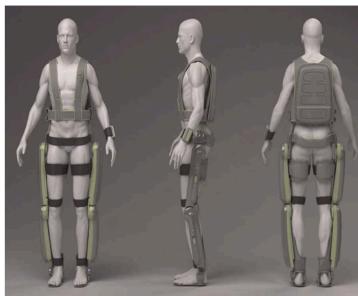


Figure 1 ReWalk™.



Figure 2 Walking with the ReWalk™.

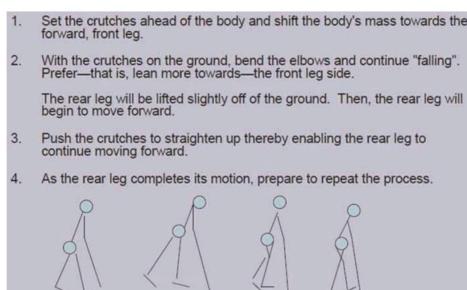


Figure 3 Technique of walking with the ReWalk™.

**Autor, empresa o institución responsable:** los autores son Gabi Zeilig, Harold Weingarden, Manuel Zwecker, Israel Dudkiewicz, Ayala Bloch, Alberto Esquenazi. Las instituciones participantes son Chaim Sheba Medical Center, Tel Aviv Sourasky Medical Center, MossRehab y la empresa desarrolladora es Argo Medical Technologies Ltd.

**Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):** ReWalk™ es un dispositivo robótico motorizado que permite a las personas con lesiones medulares caminar. Se activa mediante los movimientos del usuario, utilizando motores para controlar el andar y facilitando la marcha al activar los músculos del torso y de las piernas. Este exoesqueleto responde a la necesidad de recuperar la movilidad y la independencia en individuos con parálisis, lo cual es fundamental para su reintegración a la vida social. En cuanto a su funcionamiento, se controla mediante una inclinación del torso y selector inalámbrico. Cuenta con sensores que detectan el movimiento y activan los motores ubicados en la cadera y rodilla. Si bien requiere de uso de muletas o andadores para generar estabilidad, posee varios modos de uso: para sentarse, levantarse, caminar y subir/bajar escaleras.

### Ventajas:

-El sistema ReWalk™ utiliza un sistema de control basado en algoritmos de bucle cerrado junto con motores para manejar las articulaciones de las caderas y las rodillas. La interacción del usuario es más natural, ya que el diseño responde a la inclinación del torso, facilitando un mejor control voluntario de los movimientos.

-Se ha comprobado que el dispositivo es seguro y bien aceptado por los participantes de las pruebas, con fatiga moderada y sin aumentos de dolor. De esta manera, se favorece su autonomía al permitir que los usuarios caminen y realicen actividades diarias de formas que antes no podían, incluso tras sufrir lesiones severas.

-Aunque el dispositivo requiere un periodo de entrenamiento para lograr un andar independiente (alrededor de 13–14 sesiones), los usuarios logran controlar sus movimientos de manera efectiva, lo que demuestra que el sistema es relativamente fácil de aprender una vez que se ajusta adecuadamente a las necesidades individuales.

### Desventajas:

-Existen algunos problemas técnicos con el ReWalk™, como fallas ocasionales en los sensores y conexiones. Además, la velocidad máxima de marcha está limitada a 0.6 m/s (2.2 km/h), lo que puede no ser suficiente para situaciones que requieran mayor rapidez. Además no hay un control activo de los tobillos.

-Adquirir y mantener el sistema tiene un costo elevado, lo que puede representar una barrera significativa para su uso general, especialmente en áreas con recursos escasos. Asimismo, el dispositivo necesita un mantenimiento periódico, especialmente de los componentes electrónicos y mecánicos que son esenciales para su correcto funcionamiento.

-La asimilación del dispositivo puede no ser instantánea, y los usuarios necesitan un tiempo de entrenamiento extenso (de 13 a 14 sesiones) para lograr una funcionalidad básica, lo que limita la velocidad de su implementación en situaciones diarias. Asimismo, la necesidad de dispositivos adicionales como muletas o caminadores también es un obstáculo.

### **Reflexión final:**

#### **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

Este dispositivo se beneficiaría si se realiza una combinación de tecnologías existentes convirtiéndose en un exoesqueleto para miembros inferiores a la vez adaptado para miembros superiores, junto con sensores que monitorean la actividad muscular en tiempo real. Esta fusión haría posible que el aparato ajuste el soporte que brinda de manera flexible, mejorando la recuperación y la funcionalidad de los músculos.

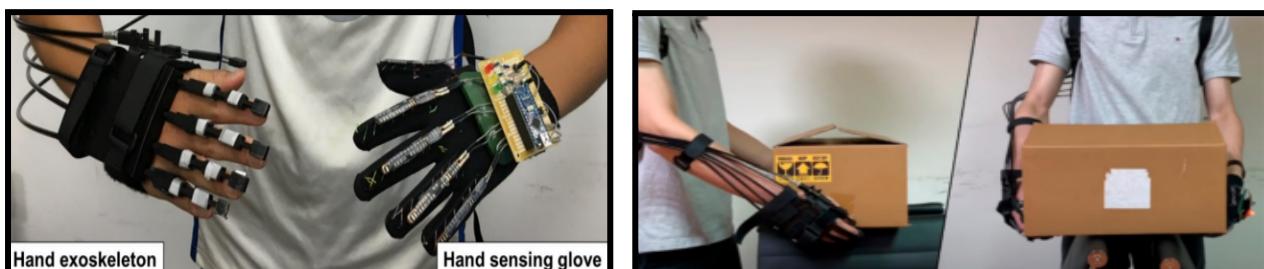
#### **¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?**

A pesar de que la tecnología puede ayudar con movimientos pasivos y asistidos, así como mejorar la postura, persiste una necesidad urgente de tener autonomía total al caminar y al manipular objetos. Crear un sistema que ofrezca múltiples formas de control automático basado en la posición del cuerpo permitiría mayor independencia y disminuiría la necesidad de otros dispositivos.

Para personas con lesiones medulares incompletas como Loayza se necesita la unión de dispositivos que no solo ofrezcan apoyo físico, sino que también promuevan la interacción y la recuperación de la funcionalidad en los brazos.

**Fuente:** Zeilig, G., Weingarden, H., Zwecker, M., Dudkiewicz, I., Bloch, A., & Esquenazi, A. (2012). Safety and tolerance of the ReWalk™ exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: A pilot study. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, \*35\*(2), 96–101. <https://doi.org/10.1179/2045772312Y.0000000003>

## **Exoesqueleto de mano portátil, instrumentado y controlado por guante para la rehabilitación bilateral de la mano**



**Autor, empresa o institución responsable:** Shih-Hung Yang , Chia-Lin Koh , Chun-Hang Hsu , Po-Chuan Chen , Jia-Wei Chen , Yu-Hao Lan , Yi Yang , Yi-De Lin , Chun-Hung Wu , Hsien-Kuang Liu , Yu-Chun Lo , Guan-Tze Liu , Chao-Hung Kuo and You-Yin Chen.

**Breve descripción funcional (que necesidad aborda y cómo):** El dispositivo presentado consiste en un guante con sensores combinado con un exoesqueleto portátil de mano, diseñado para la rehabilitación de personas con hemiplejia o hemiparesia. Su función es replicar en la mano afectada los movimientos realizados por la mano sana, favoreciendo así un entrenamiento bimanual que estimula la recuperación motora. Además, incorpora un mecanismo específico para el pulgar que permite realizar la pinza, movimiento clave para las actividades de la vida diaria. El sistema se complementa con una interfaz de

realidad virtual tipo juego, que motiva al usuario a realizar un alto número de repeticiones de manera autónoma, ya sea en clínica o en el hogar. De esta forma, aborda la necesidad de aumentar la cantidad y calidad de la práctica motora, superando las limitaciones de los programas de rehabilitación tradicionales y contribuyendo a mejorar la independencia funcional del paciente.

**Ventajas:** El guante con sensores y el exoesqueleto de mano ofrecen la posibilidad de una rehabilitación más intensiva y personalizada, ya que permiten que la mano afectada imite los movimientos de la mano sana mediante entrenamiento bimanual. Esta estrategia favorece la neuroplasticidad y mejora la calidad del movimiento en etapas tempranas de recuperación. Además, el mecanismo que integra el pulgar facilita la realización de la pinza, un gesto esencial para la autonomía en actividades de la vida diaria. La incorporación de realidad virtual añade un componente motivacional, lo que aumenta la adherencia del paciente al tratamiento y posibilita un mayor número de repeticiones en entornos tanto clínicos como domiciliarios, optimizando así el proceso de rehabilitación.

**Desventajas:** Entre las limitaciones, se encuentra la dependencia de la tecnología, lo que puede implicar costos elevados y restringir el acceso de muchos pacientes a este tipo de dispositivos. Asimismo, su uso requiere de un periodo de adaptación tanto para el paciente como para el personal de salud, lo que puede alargar la implementación en la práctica clínica. También existe el riesgo de que algunos usuarios presenten incomodidad o fatiga al usar el exoesqueleto por tiempos prolongados. Finalmente, aunque el sistema aporta apoyo en la rehabilitación, no reemplaza la supervisión profesional necesaria, por lo que su efectividad depende en gran medida de un acompañamiento adecuado y del compromiso del paciente.

#### **Reflexión final:**

##### **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

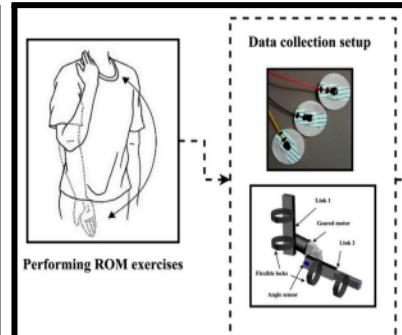
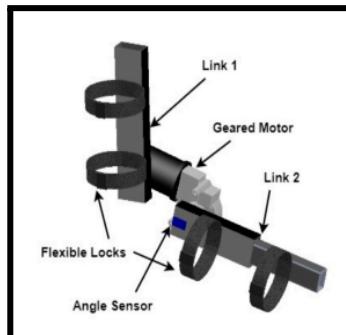
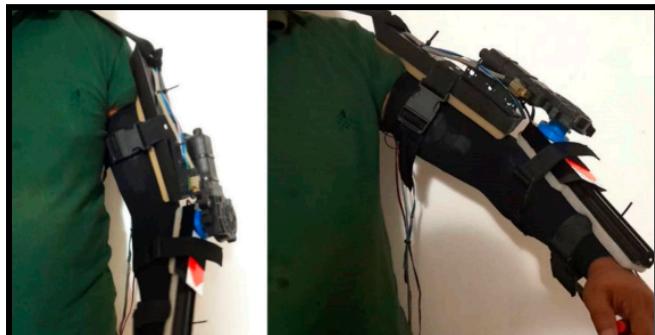
El prototipo podría expandir sus alcances, es decir, no solo consistir en aprovechar los juegos interactivos para miembros superiores como las manos sino agregarle otros tipos de juegos virtuales que motiven la rehabilitación de miembros inferiores como piernas y pies obteniendo, de este modo, una recuperación mayor a nivel motor de manera acelerada.

##### **¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?**

El hecho de que este dispositivo trabaja con ambas manos no nos limita del todo en poder probarlo con nuestro paciente, puesto que el brazo a conectar con nuestro exoesqueleto sería el brazo izquierdo pues está muy propenso a atrofiarse. Por otro lado, el brazo derecho es el único que posee una movilidad parcial que nos sería de mucha ayuda al conectarse con el guante sensor de mano. Sin embargo, la inestabilidad que tiene el paciente al momento de caminar y no poseer una postura correcta se verían afectados y no resueltos.

**Fuente:** Yang, S.-H., Koh, C.-L., Hsu, C.-H., Chen, P.-C., Chen, J.-W., Lan, Y.-H., Yang, Y., Lin, Y.-D., Wu, C.-H., Liu, H.-K., Lo, Y.-C., Liu, G.-T., Kuo, C.-H., & You-Yin Chen. (2021). *An instrumented glove-controlled portable hand-exoskeleton for bilateral hand rehabilitation*. *Biosensors*, 11(12), 495. <https://doi.org/10.3390/bios11120495>

### **Exoesqueleto robótico portátil adaptable, controlado por electromiografía y con memoria a corto y largo plazo para la rehabilitación del brazo**



**Autor, empresa o institución responsable:** S. M. U. S. Samarakoon , H. M. K. K. M. B. Herath , S. L. P. Yasakethu , Dileepa Fernando , Nuwan Madusanka , Myunggi Yi and Byeong-II Lee.

**Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):** Este estudio plantea un exoesqueleto robótico ponible para la rehabilitación del brazo superior que se basa en señales de electromiografía (EMG) y utiliza modelos de inteligencia artificial, especialmente Long Short-Term Memory (LSTM), para adaptar automáticamente la asistencia durante los ejercicios de rango de movimiento (ROM) de flexión y extensión del codo. Muchas personas mayores con daño neuromuscular o accidente cerebrovascular presentan debilidad, pérdida de fuerza o movilidad reducida en el brazo superior. Los tratamientos convencionales requieren mucha supervisión, carecen de adaptabilidad en tiempo real, y a menudo no se ajustan eficazmente al estado físico variable del paciente. El dispositivo capta las señales musculares, predice el ángulo de movimiento deseado y ajusta en tiempo real la intensidad y velocidad de la asistencia, proporcionando un entrenamiento seguro, personalizado y más eficiente gracias a su diseño liviano, ajustable y con control adaptativo.

**Ventajas:** El exoesqueleto portátil basado en EMG y LSTM ofrece una rehabilitación más personalizada, ya que adapta en tiempo real la asistencia de acuerdo con el nivel de activación muscular y el ángulo de movimiento del codo. Esto permite un entrenamiento más seguro y eficaz, al ajustarse a las capacidades del usuario en cada momento. Su diseño ligero y ajustable lo hace cómodo para el paciente, mientras que la incorporación de control adaptativo contribuye a mejorar la calidad del ejercicio y a incrementar la motivación, reduciendo la dependencia de la supervisión clínica constante y facilitando la práctica autónoma.

**Desventajas:** Entre las limitaciones, destaca la complejidad tecnológica del sistema, lo que puede encarecer su producción y limitar el acceso de pacientes y centros de rehabilitación con menos recursos. Además, requiere de conocimientos especializados para su configuración y supervisión inicial, lo que puede retrasar su implementación en la práctica clínica. También existe el riesgo de que algunos usuarios experimenten dificultades en la colocación del exoesqueleto o molestias durante su uso prolongado.

#### **Reflexión final:**

##### **¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

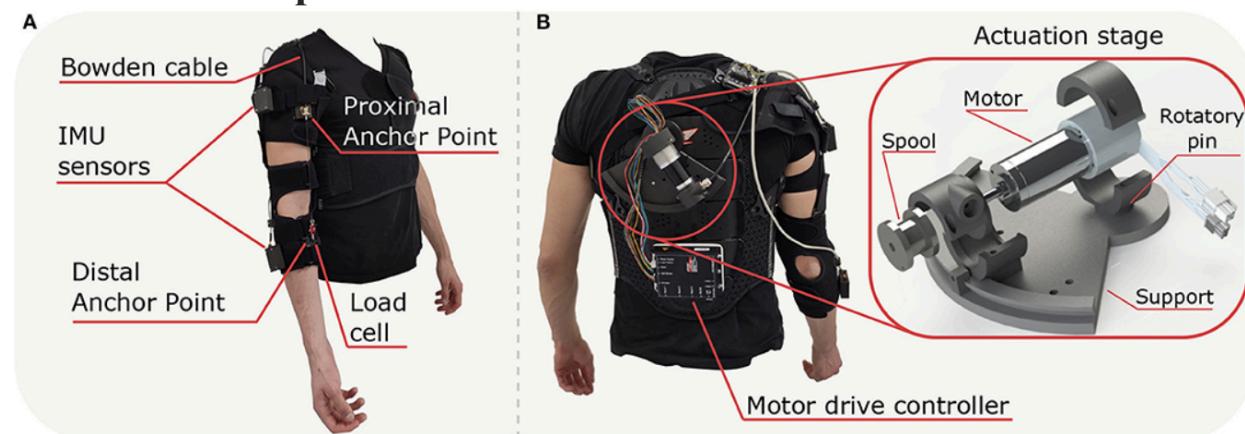
En el prototipo trataría de simplificar la configuración del uso para poder facilitar la capacitación del personal que acompañará al paciente durante toda la rehabilitación y así abastecer a la demanda; Además, poder vincularlo con los movimientos de la muñeca y así poder obtener resultados más a detalle y al mismo tiempo la mejoría veloz del paciente.

##### **¿Qué necesidad del usuario no está suficientemente cubierta?**

Este dispositivo se centra solo en el brazo del paciente, así entonces estaríamos dejando de lado la recuperación del movimiento de las muñecas de ambas manos, la postura y su desplazamiento.

**Fuente:** Samarakoon, S. M. U. S., Herath, H. M. K. K. M. B., Yasakethu, S. L. P., Fernando, D., Madusanka, N., Yi, M., & Lee, B.-I. (2025). Long Short-Term Memory-Enabled Electromyography-Controlled Adaptive Wearable Robotic Exoskeleton for Upper Arm Rehabilitation. *Biomimetics*, 10(2), 106. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10020106>

## Exosuit blando para la asistencia del brazo:



### Autor, empresa o institución responsable:

Francisco Missiroli, Nicola Lotti, Michelle Xiloyannis, Lizeth Slooth, Robert Riener y Lorenzo Masia. Institut für Technische Informatik (ZITI), Heidelberg University, Heidelberg, Germany. Institute of Robotics and Intelligent Systems, ETH Zurich, Zurich, Switzerland. Spinal Cord Injury Center, Balgrist University Hospital, Medical Faculty, University of Zurich, Zurich, Switzerland

### Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):

Este dispositivo consiste en un traje que utiliza actuadores neumáticos ubicados a la altura del codo. Al inflarse, estos actuadores generan el torque necesario para asistir el movimiento del brazo y, además, proporcionan soporte para mantenerlo en una posición determinada, reduciendo así el esfuerzo muscular del usuario. Para regresar al estado inicial se cuentan con válvulas de salida controladas electrónicamente que liberan el aire comprimido hacia el ambiente. Los movimientos generados ya estaban programados y sincronizados con las pruebas a realizar. El uso del mismo está orientado a apoyar a las personas a realizar distintas actividades y evitar la fatiga muscular. El equipo fue probado en pacientes sanos para brindar asistencia en actividades como cargar peso o mantener el brazo en determinados ángulos.

### Ventajas:

Diseño ergonómico, y realmente ligero. En caso de fallas, los activadores únicamente se desinflan. Puede ser usado tanto en ambientes clínicos. No se menciona específicamente el precio, sin embargo se puede estimar alrededor de 3100 USD a 4700 USD dependiendo de los componentes, lo cual lo vuelve una alternativa relativamente económica para lo que ofrece.

### Desventajas:

El dispositivo presenta algunas limitaciones importantes. En primer lugar, depende de una bomba para inflar los actuadores neumáticos, lo que reduce su portabilidad y dificulta su uso en la vida diaria. Además, las pruebas realizadas se llevaron a cabo únicamente en personas sanas, quienes ya pueden realizar actividades sin necesidad de asistencia, por lo que aún no se conoce su verdadero impacto en pacientes con parálisis o debilidad muscular. Asimismo, la adaptabilidad a la variación de los movimientos es reducida, ya que el sistema actúa en situaciones controladas.

### Reflexión final:

#### ¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?

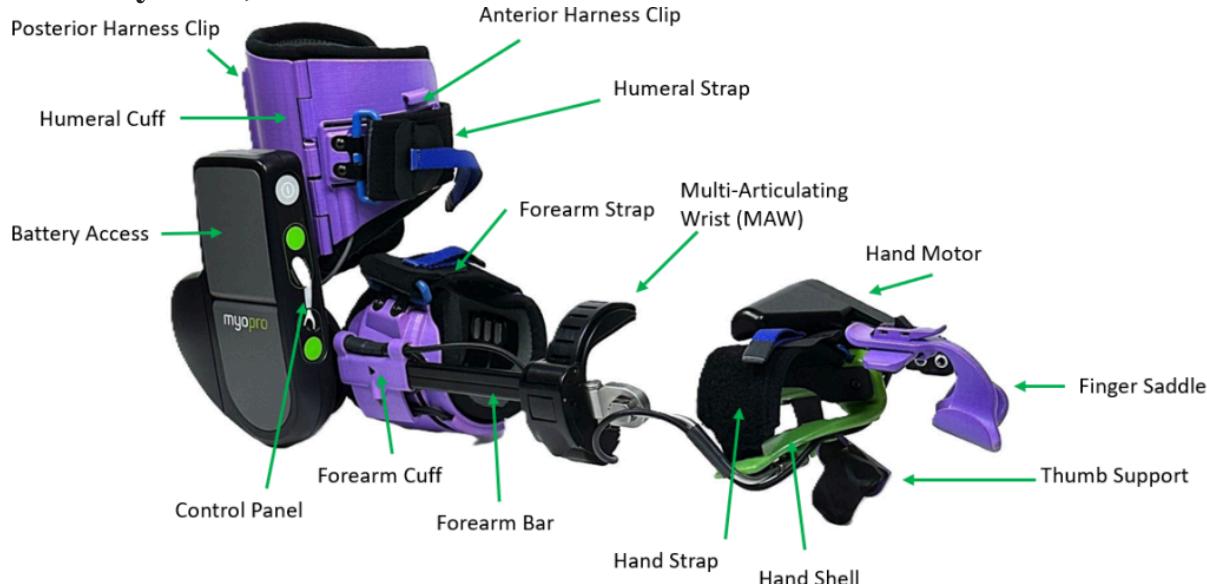
Para el caso específico que se busca atender, se podría complementar con la medición de la flexión de los dedos o movimientos de la muñeca de la mano derecha, lo que permitiría identificar mejor la intención de movimiento como la extensión y contracción del codo. Por otro lado, el uso de aire comprimido puede resultar incómodo en la práctica; si bien las almohadillas inflables son una alternativa interesante, también se podría explorar el empleo de ligas o bandas elásticas que se contraigan mediante un sistema de poleas, ofreciendo un diseño más ligero y sencillo de usar.

#### ¿Qué necesidad del usuario no está suficientemente cubierta?

El usuario sigue dependiendo de un entorno controlado y de la supervisión de terceros, cuando la meta final debería ser contar con un equipo verdaderamente portátil, fácil de usar y que favorezca la autonomía funcional.

**Fuente:** F. Missiroli, N. Lotti, M. Xiloyannis, L. H. Sloot, R. Riener, and L. Masia, “Relationship Between Muscular Activity and Assistance Magnitude for a Myoelectric Model Based Controlled Exosuit,” *Front. Robot. AI*, vol. 7, p. 595844, Dec. 2020, doi: 10.3389/frobt.2020.595844.

## MyoPro, Ortesis mioeléctrica de codo-muñeca-mano



**Autor, empresa o institución responsable:** La empresa encargada de desarrollar esta ortesis es Myomo Inc., empresa de tecnología médica estadounidense con sede principal en Boston.

**Breve descripción funcional (qué necesidad aborda y cómo):**

La ortesis mioeléctrica MyoPro está diseñada para personas con debilidad o parálisis parcial del brazo debido a lesiones medulares, accidentes cerebrovasculares, traumatismos craneoencefálicos u otras condiciones neuromusculares. Su funcionamiento se basa en la captación de señales electromiográficas residuales (EMG) de los músculos del usuario, incluso cuando estas son muy débiles. Los sensores registran la intención de movimiento y activan motores que asisten la flexión y extensión del codo, así como la apertura y cierre de la mano. De esta manera, MyoPro permite que los pacientes realicen actividades de la vida diaria como alimentarse, vestirse o manipular objetos, tareas que de otro modo serían muy difíciles o imposibles.

**Ventajas:** El MyoPro tiene el valor de reconectar al paciente con la idea de que su cuerpo todavía genera señales. Muchos usuarios reportan que sienten mayor independencia y seguridad al poder participar en actividades cotidianas sin depender siempre de un cuidador. Al ser controlado por señales musculares propias, refuerza la sensación de control personal y no de sustitución mecánica. Además, su uso se adapta tanto al contexto clínico, donde sirve para hacer ejercicios de rehabilitación repetitiva, como al entorno doméstico, donde aporta en la práctica diaria. En resumen, el MyoPro no solo es un dispositivo terapéutico, sino también un apoyo real para la vida diaria.

**Desventajas:** El dispositivo es relativamente pesado y voluminoso, lo que puede dificultar su uso prolongado y generar cansancio. Su precio es elevado, lo que restringe el acceso a muchas familias, especialmente en países donde los seguros no lo cubren. Tampoco es fácil de poner y calibrar: requiere tiempo, acompañamiento inicial y cierta curva de aprendizaje. Además, en personas con lesiones medulares altas, donde la señal muscular es mínima o prácticamente inexistente, el MyoPro no logra captar suficiente información para responder. A ello se suma que todavía no permite movimientos finos de la mano ni integra retroalimentación sensorial, por lo que tareas delicadas siguen estando fuera de alcance.

**Reflexión final:**

**¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?**

Principalmente se podrían usar materiales más ligeros y económicos para la estructura del dispositivo sin comprometer la integridad, así como alargar su tiempo de vida de batería. También algunas cosas que se podrían añadir en torno al funcionamiento, sería mayor precisión en la lectura de los pequeños movimientos, e integrar un sistema para poder estimular los músculos eléctricamente para ayudar a la rehabilitación.

**¿Qué necesidad del usuario no está suficientemente cubierta?**

El paciente seguiría requiriendo de apoyo al caminar, así mismo, este dispositivo solo abarca 1 brazo con lo que el otro brazo del paciente no sería asistido.

**Fuente:** Myomo – Página oficial del producto MyoPro y estudios clínicos publicados sobre su eficacia en rehabilitación del miembro superior. <https://myomo.com>