



EXOESQUELETOS PASIVOS Y ACTIVOS PARA ADULTOS MAYORES: IMPLICACIONES DEL ENVEJECIMIENTO, MOVILIDAD Y BIOMECÁNICA

PASSIVE AND ACTIVE EXOSKELETONS FOR OLDER ADULTS: IMPLICATIONS OF
AGING, MOBILITY, AND BIOMECHANICS

Jessica Shoban Maldonado-Rodríguez *

Juan Luis Hernández-Arellano**

Pablo Antonio Muñoz-Gutiérrez***

Resumen: El presente artículo tiene como objetivo analizar los avances recientes (2024–2025) en el diseño y aplicación de exoesqueletos de miembro inferior dirigidos a adultos mayores, considerando los efectos del envejecimiento en la biomecánica y la movilidad. A través de una revisión bibliográfica narrativa, se recopilaron investigaciones en bases de datos como PubMed, Scopus y ScienceDirect, centradas en dispositivos pasivos, activos y blandos, así como en su impacto fisiológico y ergonómico. Los resultados demuestran que los exoesqueletos de cadera con torque anti fase y los exotrajajes blandos reducen la activación muscular y el gasto energético durante la marcha y las transiciones posturales, mejorando la estabilidad y disminuyendo la fatiga. Se identificó que la aceptación del usuario aumenta cuando el dispositivo es ligero, fácil de colocar y se adapta ergonómicamente al cuerpo. Sin embargo, persisten desafíos como el peso, la presión localizada y los costos de mantenimiento. En la discusión, se destaca la necesidad de integrar principios de diseño centrado en el usuario, selección de materiales ligeros y ajustes antropométricos que garanticen confort y seguridad. Se concluye que los exoesqueletos representan una herramienta clave para promover la autonomía y la prevención de caídas en adultos mayores, especialmente si se desarrollan con enfoque accesible y sostenible para el contexto latinoamericano.

Palabras clave: Exoesqueleto pasivo, adultos mayores, envejecimiento, ergonomía, biomecánica, movilidad, marcha, exotrajajes.

Abstract: This article aims to analyze recent advances (2024–2025) in the design and application of lower-limb exoskeletons for older adults, considering the effects of aging on biomechanics and mobility. Through a narrative literature review, studies from databases such as PubMed, Scopus, and ScienceDirect were compiled, focusing on passive, active, and soft devices, as well as their physiological

* Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA), Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Correo electrónico: al250969@alumnos.uacj.mx, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4926-6728>. Autor de correspondencia.

** Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA), Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Correo electrónico: luis.hernandez@uacj.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8612-5132>

*** Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA), Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Correo electrónico: al229150@alumnos.uacj.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7070-4287>

and ergonomic impacts. The results show that hip exoskeletons with anti-phase torque and soft exosuits reduce muscle activation and energy expenditure during gait and postural transitions, improving stability and decreasing fatigue. User acceptance was found to increase when the device is lightweight, easy to do, and ergonomically adapted to the body. However, challenges remain regarding weight, localized pressure, and maintenance costs.

The discussion highlights the need to integrate user-centered design principles, lightweight materials, and anthropometric adjustments that ensure comfort and safety. It is concluded that exoskeletons represent a key tool to promote autonomy and prevent falls among older adults, especially if developed with an accessible and sustainable approach suited to the Latin American context.

Keywords: Passive exoskeleton, older adults, aging, ergonomics, biomechanics, mobility, gait, exosuits.

Recepción: 11.11.2025/ Revisión: 02.05.2026/ Aceptación: 12.08.2026

Introducción

El envejecimiento de la población mundial avanza rápidamente: hoy existen más de 700 millones de personas mayores de 65 años y se espera que sean 1 500 millones en 2050 (DESA, 2025). Este crecimiento trae retos importantes para la salud, la movilidad y la calidad de vida. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), por primera vez en la historia, el número de personas mayores de 60 años superó al de niños menores de cinco años. Este fenómeno refleja el aumento de la esperanza de vida y plantea desafíos inéditos en materia de salud pública, infraestructura y diseño de productos de función asistiva (Guillemot et al., 2024; PRB, 2024). En este escenario, la tecnología juega un papel fundamental en áreas como la salud y el bienestar.

Los exoesqueletos son dispositivos mecánicos o electromecánicos diseñados para aumentar, asistir o restaurar la capacidad de movimiento humano (Ocello & Lovott, 2020)(Sridhar et al., 2025) . El exoesqueleto pasivo es un método viable para aumentar la fuerza física, destacándose por su ventaja de no requerir energía externa y proporcionar asistencia continua (Cardoso et al., 2024). Un enfoque popular para mejorar la eficiencia de las actividades humanas es el uso de componentes de almacenamiento de energía como resortes y amortiguadores (N. Zhou et al., 2022)

En adultos mayores, los exoesqueletos representan una tecnología asistiva orientada a favorecer la movilidad y el desempeño funcional. De acuerdo con su principio de funcionamiento, estos dispositivos se clasifican en exoesqueletos pasivos y activos. Los exoesqueletos pasivos los que proporcionan asistencia mediante mecanismos sin requerir una fuente de energía externa, mientras que los activos emplean una fuente de energía y sistemas de accionamiento para proporcionar asistencia al movimiento. Esta clasificación permite comprender las ventajas y limitaciones de cada enfoque en el desarrollo de dispositivos dirigidos a esta población (Gavrila et al., 2024).

Los exoesqueletos pasivos destacan por su diseño simple y bajo costo, lo que los hace ideales para tareas específicas y permitiendo una movilidad más amplia para los usuarios permitiendo portarlos periodos largos sin representar molestia para el usuario (Davoudi et al.,

2024). En cambio, los exoesqueletos activos ofrecen un mayor apoyo y adaptabilidad, ya que usan motores y elementos que acompañan el movimiento, aunque esto implica un peso y ciertas limitaciones como una movilidad reducida o dificultad para aplicarlos o retirarlos del cuerpo (Mohamad et al., 2024). En el caso de los adultos mayores, resulta esencial que estos dispositivos mantengan la alineación natural de las articulaciones, preservando los ejes de movimiento del cuerpo (Krishnan et al., 2024). Asimismo, el ajuste antropométrico y el nivel de confort son factores determinantes para su correcta aceptación y uso, ya que una adaptación inadecuada puede generar molestias y reducir la eficacia del sistema (Cruz-Flores et al., 2025; Lau y Mombaur, 2024).

Marco conceptual y biomecánico del envejecimiento

El envejecimiento conlleva sarcopenia, pérdida de densidad ósea y alteraciones del control postural, con efectos en velocidad de marcha, longitud de paso, pérdida de masa muscular y conlleva a pérdida de estabilidad (Salech et al., 2012)(Morfís & Gkaraveli, 2021). La fragilidad y el miedo a las caídas disminuyen la participación social y aumentan la dependencia (S et al., 2025). Siendo la debilidad muscular un factor principal que contribuye a las caídas en adultos mayores, junto con dificultades para caminar y pérdida de equilibrio (Wang et al., 2025). El envejecimiento y la disminución de la actividad física reducen la fuerza y la movilidad, afectando la coordinación y el control postural (Saüch et al., 2013). Teniendo un impacto altamente significativo, que no solo trae secuelas físicas, sino también por las consecuencias psicológicas, como el "miedo a caer", que genera inseguridad y mayor dependencia, complicando así el proceso de rehabilitación y recuperación (Vázquez et al., 2025). Desde la biomecánica, disminuye el rango articular en cadera, rodilla y tobillo y se altera la secuencia apoyo-balanceo, reduciendo la eficiencia del desplazamiento (Guzmán et al., 2010).

Tipologías de exoesqueletos

Pasivos

Los exoesqueletos pasivos se definen como sistemas mecánicos pasivos, sin actuadores, que alivian la carga biomecánica del usuario sin restringir su movimiento (Preethichandra et al., 2024). Transfieren el peso de los brazos hacia la espalda, ofrecen compensación de gravedad y reducen de forma notable la actividad muscular en los hombros, disminuyendo la fatiga y la incomodidad. Aunque pueden modificar levemente la postura o la cinemática, mantienen los patrones naturales del movimiento (Scotto et al., 2025).

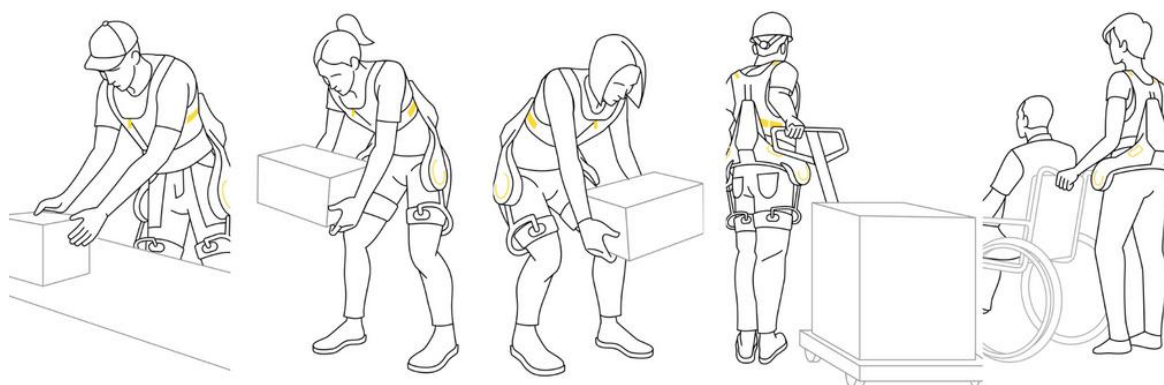
Activos

Los exoesqueletos activos son dispositivos que utilizan fuentes de energía para facilitar el movimiento de los usuarios, ofreciendo soporte y asistencia en la locomoción. Estos dispositivos incorporan actuadores que generan movimiento en articulaciones específicas, como las de las caderas y las rodillas. Demostrado su eficacia en la rehabilitación de pacientes con diversas afecciones neurológicas y al apoyo a mejorar la velocidad y la calidad de la marcha (Gavrila et al., 2024).

Exotrajés y soft robotics

Los exotrajés, desarrollados bajo el enfoque de la robótica blada, utilizan materiales flexibles y sistemas que aportan rigidez variable que permiten una mejor adaptación al movimiento del usuario, un mejor ajuste al cuerpo y permiten acompañar el movimiento natural de las articulaciones (Die- Pancorbo et al., 2025). Los avances recientes en el diseño de exoesqueletos han orientado el desarrollo de estructuras textiles flexibles, impulsando dispositivos más adaptables y con mayor capacidad de interacción con el usuario (Lakmazaheri et al., 2024). Asimismo, los avances recientes han integrado sensores y estrategias de control que permiten ajustar la asistencia de acuerdo con las necesidades del usuario, promoviendo una interacción más adaptable durante los procesos de rehabilitación (Mashud et al., 2025).

Figura 1. Tareas en las que proporcionan apoyo los exoesqueletos pasivos



Extraída de Shah (2024).

Clasificación por segmentación anatómica

Desde el punto de vista del segmento corporal al que prestan asistencia, los exoesqueletos para adultos mayores pueden agruparse en:

- Miembro inferior completo: dispositivos que abarcan cadera, rodilla (y en algunos casos tobillo), pensados para apoyar la marcha, mejorar la estabilidad y reducir el esfuerzo durante desplazamientos más largos (Carrasquillo et al., 2025; Kong et al., 2022).
- Exoesqueletos de cadera: se colocan en la región pélvica y de muslos; asisten la fase de impulso y controlan la oscilación, útiles cuando hay debilidad proximal o riesgo de caída por falta de control en la cadera (Sheng et al., 2025).
- Exoesqueletos de rodilla: diseñados para apoyar la extensión de rodilla en actividades como ponerse de pie, subir escaleras o mantener la postura de bipedestación, frecuentes en adultos mayores con sarcopenia o dolor articular (Lyu et al., 2019; Sreenivasan et al., 2025).

- Tobillo-pié: de menor tamaño, orientados a mejorar el despeje del pie, la simetría de la marcha y la estabilidad mediolateral, sobre todo en usuarios con arrastre o debilidad distal(Khalid Salih & Aboud, 2023; Nursultan et al., 2023).
- Asistencia sedente-bípedo / levantarse-sentarse: estructuras que facilitan la transición de sentado a de pie y viceversa, reduciendo el par requerido en cadera y rodilla, muy relevantes en contextos domiciliarios (Bostelman et al., 2019; Lowe et al., 2019).
- Sistemas multisegmento o modulares: permiten combinar más de una de las asistencias anteriores según el nivel de funcionalidad del usuario(Bai et al., 2022; Hess-Coelho et al., 2022).

Diseño ergonómico y selección de materiales

Principios de diseño centrado en el usuario

La norma ISO 9241-210 resalta la importancia del diseño centrado en el usuario, este enfoque debe tener la integración del co-diseño con usuarios, pruebas formativas (rápidas, en etapas tempranas) y pruebas sumativas (con métricas de desempeño, seguridad y la adaptabilidad), además, evaluar la usabilidad y percepción del dispositivo a lo largo de su desarrollo (ISO, 2019). Para la población mayor, es esencial que el exoesqueleto permita colocarse y retirarse sin asistencia, cuente con sistemas de ajuste fino —como hebillas microajustables o cintas de velcro amplias— y distribuya la carga de forma uniforme evitando concentraciones superiores a 45 kPa en zonas críticas. Finalmente, un diseño modular y materiales accesibles —como aleaciones ligeras de aluminio o polímeros reforzados— permiten el mantenimiento sencillo y la producción local, aumentando la sostenibilidad y la disponibilidad de estas tecnologías en entornos latinoamericanos (Lorés et al., 2020). Este enfoque integral favorece la aceptación del exoesqueleto y su incorporación a la vida diaria del adulto mayor.

Materiales y arquitectura

El diseño estructural de un exoesqueleto debe asegurar resistencia mecánica, bajo peso y una interacción ergonómica segura con el cuerpo del usuario. La selección del material compone un aspecto clave en el diseño estructural de los exoesqueletos, ya que afecta el comportamiento biomecánico y el desempeño ergonómico del dispositivo (Miralles et al., 2024) (Çalikuşu & Fidan, 2025) . Desde la perspectiva del diseño estructural, el exoesqueleto debe favorecer la integración entre el usuario y el dispositivo mediante una configuración que acompañe el movimiento corporal. Tomando en cuenta esto, actualmente los avances en materiales, procesos de fabricación y diseños modulares han permitido desarrollar estructuras más ligeras, robustas y flexibles, favoreciendo la interacción entre el usuario y el dispositivo (J. Zhou et al., 2020).

Los materiales recomendados —aleaciones de aluminio, fibras de carbono y polímeros de alta resistencia combinan ligereza y durabilidad, y deben complementarse con recubrimientos internos viscoelásticos que mejoren el confort durante el contacto prolongado con la piel (Tandi et al., 2025). Asimismo, la aplicación de materiales adaptativos —como

fibras con memoria de forma o polímeros termoactivos— permite ajustar la rigidez en función del movimiento, optimizando la estabilidad articular (Lim et al., 2025)(Lin et al., 2025).

Interfaces, confort térmico y gestión de presión

El confort no depende solo del acolchado: requiere gestión térmica (evitar acumulación de calor/sudor), fricción controlada (forros con bajo coeficiente para prevenir ampollas) y estabilidad de interfaz (que la geometría no migre durante la marcha). Se recomienda:

- Pads multicapa: viscoelástico + malla 3D para ventilación, con fundas lavables.
- Distribución de presión: mantener valores cómodos y seguros en las zonas de apoyo.
- Geometría de abrazadera: radios amplios ($\geq 6-8$ mm) para evitar bordes agresivos y pinch-points.
- Compatibilidad dermatológica: emplear superficies hipoalergénicas, sin plastificantes migratorios, y con protocolos de higiene sencillos (como fundas removibles o limpieza con toallitas).

Objetivos

Objetivo general

Establecer lineamientos para el diseño de exoesqueletos pasivos dirigidos a adultos mayores, mediante el análisis de los principios ergonómicos, tomando en cuenta los aspectos biomecánicos y antropométricos, así como en la selección de materiales que fundamentan su diseño.

Objetivos específicos

1. Analizar las condiciones fisiológicas, biomecánicas y funcionales asociadas al envejecimiento que influyen en la movilidad del adulto mayor, identificando aquellas características que condicionan los requerimientos de diseño de un exoesqueleto pasivo.
2. Analizar los factores que intervienen en la interacción usuario-dispositivo, considerando aquellas condiciones que puedan incrementar el riesgo de lesión, generar incomodidad, restringir la movilidad o interferir con la ejecución de las actividades de la vida diaria, con el fin de establecer criterios que minimicen la carga física y cognitiva asociada al uso del exoesqueleto.

Materiales y métodos

Materiales

Para el desarrollo de la revisión se utilizaron bases de datos científicas como PubMed, Scopus, ScienceDirect y Google Scholar. La búsqueda se realizó mediante palabras clave en español e inglés, tales como: “exoesqueletos pasivos”, “exoesqueletos activos”, “adultos mayores”, “envejecimiento”, “biomecánica”, “movilidad”, “marcha”, “ergonomía”, “passive exoskeleton”, “active exoskeleton”, “older adults”, “aging”, “biomechanics” y “soft exosuit”.

La información fue organizada en una matriz de análisis documental, considerando autor, año de publicación, tipo de exoesqueleto, segmento corporal asistido, población de estudio, variables evaluadas, materiales reportados, principales resultados y limitaciones.

Método

El presente estudio se desarrolló mediante una revisión bibliográfica narrativa orientada a analizar los avances recientes en exoesqueletos pasivos, activos y blandos de miembro inferior dirigidos a adultos mayores. La revisión consideró estudios vinculados con movilidad, marcha, biomecánica, ergonomía, prevención de caídas, confort, usabilidad y diseño de dispositivos de asistencia.

Para la selección de los documentos se establecieron criterios de inclusión y exclusión, considerando la pertinencia temática, el año de publicación, el tipo de estudio, la población analizada y la relación directa con el diseño o aplicación de exoesqueletos en adultos mayores. Se priorizaron publicaciones entre 2024 y 2025, incluyendo estudios previos cuando fueron necesarios para fundamentar el análisis. Se excluyeron documentos duplicados, trabajos sin acceso a texto completo o investigaciones sin relación directa con exoesqueletos, adultos mayores o movilidad asistida.

Los documentos seleccionados fueron analizados de forma comparativa para identificar tendencias de diseño, beneficios biomecánicos, limitaciones ergonómicas y oportunidades de aplicación en contextos latinoamericanos.

Resultados y discusión

Eficiencia e impacto fisiológico

Los estudios recientes coinciden en que los exoesqueletos de cadera con asistencia en torque antifase y los exotrajes blandos ayudan a reducir el esfuerzo muscular durante la marcha y en los movimientos de transición. Los registros electromiográficos muestran una menor activación en grandes grupos musculares, como los cuádriceps y los erectores espinales, especialmente durante las fases de impulso y apoyo medio (*Exoesqueletos, una Solución Eficaz Para Mejorar Las Condiciones de Trabajo! - Ergosanté*, n.d.). Esto se traduce en menor fatiga y en una sensación de esfuerzo reducido en trayectos cortos y medianos. Además, se ha observado una mejora en la economía de marcha —es decir, una disminución del gasto energético relativo—, especialmente en adultos mayores con menor velocidad de caminata o con limitaciones en la flexión de cadera. En

los movimientos de levantarse desde una silla, los marcos pasivos con elementos elásticos proporcionan un impulso inicial que disminuye la carga articular, mejora la estabilidad y favorece una postura alineada al iniciar la marcha. En personas frágiles o con antecedentes de casi-caídas, esta asistencia puntual tiene un efecto preventivo, ya que reduce los titubeos al incorporarse y el riesgo de colapso de rodilla, dos factores comunes antes de una pérdida de equilibrio.

Usabilidad y aceptación

La adherencia mejora cuando el exoesqueleto es ligero, discreto y fácil de colocar, integrándose con la ropa cotidiana y reduciendo el estigma visual. Las interfaces simples, con modos claros e indicadores evidentes, facilitan el aprendizaje y el uso continuo, especialmente en personas con menor destreza manual o visual (Davoudi et al., 2024). Estudios recientes muestran que estos factores reducen los tiempos de colocación, los reajustes durante la marcha y aumentan el tiempo de uso semanal (Scotto et al., 2025). La aceptación también se asocia con la sensación de control y confianza que el dispositivo transmite al usuario, aspectos fundamentales para mantener la autonomía (Vázquez et al., 2025).

Barreras y riesgos

Pese a los avances, persisten limitantes que condicionan su uso continuo. El peso y la distribución de los exoesqueletos son críticos para personas mayores, ya que algunos cientos de gramos extra en la cintura o el muslo pueden causar molestias y reducir el tiempo de uso. Además, ajustar demasiado las cintas para ganar estabilidad genera presión y rozaduras, lo que puede llevar al rechazo del dispositivo (Mahmud, 2023; Mahmud et al., 2022).

En el plano fisiológico, existe el riesgo de desacondicionamiento si el exoesqueleto activo se usa como sustituto del esfuerzo: sin un protocolo progresivo de ejercicio, la asistencia puede disminuir la estimulación muscular necesaria para mantener fuerza y equilibrio. La eficacia del diseño depende de integrar evaluaciones funcionales y perceptuales que consideren la experiencia del usuario, lo cual es esencial para garantizar comodidad, facilidad de colocación y adaptación antropométrica (Zelik et al., 2022). Finalmente, a nivel sistémico, el costo de adquisición, los esquemas de mantenimiento (reposición de pads, cintas o componentes textiles) y la infraestructura de servitización (calibraciones y soporte técnico) influyen en la escalabilidad del producto, especialmente en contextos de ingresos medios. Superar estas barreras requerirá estrategias híbridas: priorizar pasivos o soft exosuits para tareas y transiciones específicas, emplear activos ligeros solo donde el beneficio funcional sea claro, y articular modelos de acceso (renta, leasing, programas comunitarios) que reduzcan la carga económica inicial sin sacrificar la continuidad del servicio.

Discusión

La revisión realizada permitió identificar que el desarrollo reciente de los exoesqueletos de miembro inferior para adultos mayores se ha orientado hacia dispositivos que priorizan la interacción entre el usuario y el dispositivo, además de la asistencia durante la marcha (Die-Pancorbo et al., 2025; Mashud et al., 2025; Preethichandra et al., 2024). En conjunto, los estudios analizados muestran que la reducción del esfuerzo muscular y del gasto energético depende no solo del mecanismo de asistencia empleado, sino también de factores como el ajuste al cuerpo, la

adaptación al movimiento natural y la facilidad de uso, aspectos que influyen directamente en la aceptación del dispositivo (Lakmazaheri et al., 2024; Die- Pancorbo et al., 2025).

Asimismo, la evidencia revisada muestra una tendencia hacia estructuras más ligeras, materiales flexibles y configuraciones que favorecen el confort y la adaptación al usuario (Çalikuşu & Fidan, 2025; Preethichandra et al., 2024). Aunque los avances tecnológicos han mejorado el desempeño de estos dispositivos, persisten desafíos relacionados con el peso, la presión en las zonas de contacto y los costos asociados a su implementación. Estos hallazgos ponen de manifiesto que el desarrollo de futuros exoesqueletos no debe centrarse únicamente en incrementar la asistencia mecánica, sino en integrar principios ergonómicos desde las primeras etapas del diseño, con el propósito de lograr dispositivos seguros, cómodos y compatibles con las capacidades funcionales de los adultos mayores (Davoudi et al., 2024; Tandi et al., 2025).

Oportunidades diseño, investigación y despliegue

Las oportunidades futuras se enfocan en tres áreas: diseño, investigación y accesibilidad. En el diseño, se busca crear dispositivos más ligeros, modulares y fáciles de mantener. En investigación, se necesitan estudios prolongados que midan los beneficios reales en fuerza, equilibrio y confianza. En accesibilidad, es importante impulsar programas que faciliten el préstamo o la renta de exoesqueletos en centros comunitarios (Madinei et al., 2020; Schwerha et al., 2021; van Sluijs et al., 2024). El desarrollo ético de estas tecnologías también debe asegurar la protección de datos personales y promover un uso responsable que complemente, no sustituya, la actividad física.

Implicaciones prácticas

En la rehabilitación médica, los exoesqueletos pueden complementar las estrategias convencionales de intervención, favoreciendo la movilidad y el desempeño funcional de las personas mayores. En el hogar, los dispositivos pasivos pueden facilitar la realización de actividades de la vida diaria, como caminar o incorporarse con menor esfuerzo. En la comunidad, su incorporación puede contribuir a promover la autonomía funcional y la participación social. En este contexto, el diseño industrial desempeña un papel fundamental en el desarrollo de dispositivos funcionales, cómodos y ergonómicamente adecuados que favorezcan su aceptación y uso.

Conclusiones

Los exoesqueletos de miembro inferior ya sean pasivos, activos o blandos, representan una oportunidad significativa para mejorar la movilidad de los adultos mayores. La biomecánica del envejecimiento resalta la necesidad de dispositivos que alivien la carga muscular y promuevan la estabilidad. Para que estos sistemas sean adoptados, es fundamental que se diseñen con un enfoque centrado en el usuario, considerando la compatibilidad articular, el ajuste antropométrico y el uso de materiales ligeros.

Los avances tecnológicos identificados en los estudios publicados entre 2024 y 2025, como el torque en antifase, la robótica blanda y la inteligencia artificial, evidencian una tendencia hacia la integración de tecnologías pasivas y activas, además de favorecer una mayor personalización de los dispositivos. En los próximos años (2025-2028), será fundamental realizar ensayos de campo prolongados, evaluar la costo-efectividad de estos dispositivos y fomentar la fabricación local,

especialmente de exoesqueletos pasivos. Esto favorecerá el desarrollo de exoesqueletos más viables para su implementación en diferentes entornos.

La incorporación de estos dispositivos en programas dirigidos a personas mayores, bajo un enfoque ético y humanista, puede contribuir a una mayor autonomía funcional, a la prevención de caídas y a una mejor calidad de vida. Es esencial desarrollar propuestas que ofrezcan un apoyo real a las personas mayores, priorizando diseños que favorezcan la autonomía, la seguridad y la independencia en las actividades de la vida diaria.

Referencias

- Bai, S., Islam, M. R., Power, V., & O'Sullivan, L. (2022). User-centered development and performance assessment of a modular full-body exoskeleton (AXO-SUIT). *Biomimetic Intelligence and Robotics*, 2(2). <https://doi.org/10.1016/j.birob.2021.100032>
- Bostelman, R. V., Li-Baboud, Y. S., Virts, A., Yoon, S., & Shah, M. (2019). Towards standard exoskeleton test methods for load handling. *2019 Wearable Robotics Association Conference (WearRACon)*, 21–27. <https://doi.org/10.1109/WEARRACON.2019.8719403>
- Çalışkuşu, İ., & Fidan, U. (2025). The impact of different material types on ergonomics in lower extremity exoskeleton construction. *Computers in Biology and Medicine*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2025.110403>
- Cardoso, A., Ribeiro, A., Carneiro, P., & Colim, A. (2024). Evaluating Exoskeletons for WMSD Prevention: A Systematic Review of Applications and Ergonomic Approach in Occupational Settings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(12), 1695. <https://doi.org/10.3390/IJERPH21121695>
- Carrasquillo, C., Bajpai, A., Iyengar, D., Collins, K., Mazumdar, A., & Young, A. J. (2025). Enhancing Human Navigation Ability Using Force-Feedback from a Lower-Limb Exoskeleton. *IEEE Transactions on Haptics*, 1–13. <https://doi.org/10.1109/TOH.2025.3533974>
- Cruz-Flores, F., Sánchez-Brito, A. L., Campos Amezcua, R., Barrera Sánchez, A., Azcaray Rivera, H. R., Martínez Mata, A. J., & Blanco Ortega, A. (2025). A Review of Assistive Devices in Synovial Joints: Records, Trends, and Classifications. In *Technologies* (Vol. 13, Number 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/technologies13070292>
- Davoudi, F., Moghadam, A., Nieto, A., & Vora, H. (2024). Evaluating the Efficacy of a Passive Exoskeleton for Enhancing Ergonomics in Manufacturing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104332>
- DESA. (2025). *Our world is growing older: UN DESA releases new report on ageing*. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/our-world-is-growing-older.html>
- Die- Pancorbo, S., Copaci, D., & Blanco, D. (2025). Sistema de rigidez variable controlable para exoesqueletos de rehabilitación. *Jornadas de Automática*, (46). <https://doi.org/10.17979/ja- cea.2025.46.12209>
- Exoesqueletos, una solución eficaz para mejorar las condiciones de trabajo! - Ergosanté*. (n.d.). Retrieved March 31, 2025, from <https://ergosante.fr/es/2023/02/08/exosquelettes-une-solution-efficace-pour-ameliorer-les-conditions-de-travail/>
- Gavrila, R., Firouzi, M., Claey, R., Bautmans, I., Swinnen, E., & Beckwée, D. (2024). A State-of-the-Art of Exoskeletons in Line with the WHO's Vision on Healthy Aging: From Rehabilitation of Intrinsic Capacities to Augmentation of Functional Abilities. In *Sensors* (Vol. 24, Number 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24072230>
- Guillemot, J., Zhang, X., & Warner, M. (2024). Population Aging and Decline Will Happen Sooner Than We Think. *Social Sciences*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/socsci13040190>
- Guzmán, R., Porcel, H., Cordier, B., & Adul, S. (2010). Diferencias biomecánicas durante la transferencia de sedente a bípedo entre adultos mayores con y sin historia de caídas frecuentes. *Revista Española de Geriatria y Gerontología*, 45(5), 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.regg.2010.05.002>
- Hess-Coelho, T. A., Cortez, M., Moura, R. T., & Forner-Cordero, A. (2022). Progressive Improvement of the Model of an Exoskeleton for the Lower Limb by Applying the Modular Modelling Methodology. *Machines*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/machines10040248>
- International Organization for Standardization. (2019). *Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems* (ISO 9241-210:2019). <https://www.iso.org/standard/77520.html>

- Khalid Salih, R., & Aboud, W. S. (2023). Smart Robotic Exoskeleton: Constructing Using 3D Printer Technique for Ankle-Foot Rehabilitation. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i4.18429>
- Kong, Y.-K., Choi, K.-H., Cho, M.-U., Kim, S.-Y., Kim, M.-J., Shim, J.-W., Park, S.-S., Kim, K.-R., Seo, M.-T., Chae, H.-S., & Shim, H.-H. (2022). Ergonomic Assessment of a Lower-Limb Exoskeleton through Electromyography and Anybody Modeling System. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13). <https://doi.org/10.3390/ijerph19138088>
- Krishnan, C., Adeeko, O., Washabaugh, E., Augenstein, T., Brudzinski, M., Portelli, A., & Kalpakjian, C. (2024). Human-centered design of a novel soft exosuit for post-stroke gait rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01356-3>
- Lakmazaheri, A., Song, S., Vuong, B., Biskner, B., Kado, D., & Collins, S. (2024). Optimizing exoskeleton assistance to improve walking speed and energy economy for older adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01287-5>
- Lau, J., & Mombaur, K. (2024). Can lower-limb exoskeletons support sit-to-stand motions in frail elderly without crutches? A study combining optimal control and motion capture. *Frontiers in Neurorobotics*, 18. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2024.1348029>
- Lim, B., Choi, B., Roh, C., Lee, J., Kim, Y. J., & Lee, Y. (2025). Ultra-lightweight robotic hip exoskeleton with anti-phase torque symmetry for enhanced walking efficiency. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95599-2>
- Lin, W., Xiong, Y., Zhang, C., Wang, X., & Han, B. (2025). Research and Design of a Medial-Support Exoskeleton Chair. *Biomimetics*, 10(5), 330. <https://doi.org/10.3390/BIOMIMETICS10050330>
- Lorés, S., Rodríguez, J., Lorente, T., Pelegrín, C., Castillón, A., & Marques, I. (2020). Physical activity and nutritional and psychosocial status in non-dependent elderly. *Semergen*, 46(4), 244–253. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2019.10.010>
- Lowe, B. D., Billotte, W. G., & Peterson, D. R. (2019). ASTM F48 Formation and Standards for Industrial Exoskeletons and Exosuits. *IIEE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7(0), 000. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1579769>
- Lyu, M., Chen, W. H., Ding, X., Wang, J., Pei, Z., & Zhang, B. (2019). Development of an EMG-controlled knee exoskeleton to assist home rehabilitation in a game context. *Frontiers in Neurorobotics*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2019.00067>
- Madinei, S., Alemi, M. M., Kim, S., Srinivasan, D., & Nussbaum, M. A. (2020). Biomechanical Evaluation of Passive Back-Support Exoskeletons in a Precision Manual Assembly Task: “Expected” Effects on Trunk Muscle Activity, Perceived Exertion, and Task Performance. *Human Factors*, 62(3), 441–457. <https://doi.org/10.1177/0018720819890966>
- Mahmud, D. (2023). *Exploring Opportunities and Challenges of Adopting Exoskeletons Exploring Opportunities and Challenges of Adopting Exoskeletons and Exosuits in Construction: Identifying Facilitators, Barriers, and and Exosuits in Construction: Identifying Facilitators, Barriers, and Potential Solutions to Those Barriers Potential Solutions to Those Barriers*. <https://researchrepository.wvu.edu/etd>
- Mahmud, D., Bennett, S. T., Zhu, Z., Adamczyk, P. G., Wehner, M., Veeramani, D., & Dai, F. (2022). Identifying Facilitators, Barriers, and Potential Solutions of Adopting Exoskeletons and Exosuits in Construction Workplaces. *Sensors*, 22(24). <https://doi.org/10.3390/s22249987>
- Mashud, G., Hasan, S. K., & Alam, N. (2025). Advances in Control Techniques for Rehabilitation Exoskeleton Robots: A Systematic Review. In *Actuators* (Vol. 14, Number 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/act14030108>
- Miralles, M., Oleari, C., Florentin, R., & Danieli, J. (2024). *Exoesqueletos en la industria: Avances, desafíos y perspectivas futuras*.
- Mohamad, A., Lindhard, S., & Wandahl, S. (2024). Integrating exoskeletons in the construction sector: a systematic review of empirical evaluation tools and future directions. In *Engineering*,

- Construction and Architectural Management*. Emerald Publishing.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2024-0563>
- Morfis, P., & Gkaraveli, M. (2021). Effects of aging on biomechanical gait parameters in the healthy elderly and the risk of falling. *Journal of Research and Practice on the Musculoskeletal System*, 05(2), 59–64. <https://doi.org/10.22540/jrpms-05-059>
- Nursultan, Z., Ceccarelli, M., & Balbayev, G. (2023). Design and Performance Analysis of Ankle Joint Exoskeleton. *Mechanisms and Machine Science*, 133 MMS, 152–159. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32446-8_17
- Ocello, M., & Lovott, V. (2020). *Ortesis y prótesis*.
- OMS. (2022, October 1). *Envejecimiento y salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- PRB. (2024, September). *Highlights From the 2024 World Population Data Sheet 2024* | PRB. <https://www.prb.org/articles/highlights-from-the-2024-world-population-data-sheet/?utm>
- Preethichandra, D., Piyathilaka, L., Sul, J., Izhar, U., Samarasinghe, R., Arachchige, S., & C de Silva, L. (2024). Passive and Active Exoskeleton Solutions: Sensors, Actuators, Applications, and Recent Trends. In *Sensors* (Vol. 24, Number 21). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24217095>
- S, Türkmen., E, Sönmez., S, Canbulat., & F, Öztürk. (2025). Fear of Falling Avoidance Behavior on Daily Living Activities and Physical Activity in Older Adults: A Cross-Sectional Study. *Nursing & Health Sciences*, 27(1), e70060. <https://doi.org/10.1111/NHS.70060>
- Salech, F., Jara, R., & Michea, L. (2012). Physiological changes associated with normal aging. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(1), 19–29. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(12\)70269-9](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(12)70269-9)
- Saüch, G., Castañer, M., & Hilenó, R. (2013). *Valorar la capacidad de equilibrio en la tercera edad*. 23(23), 48–50. www.retos.org
- Schwerha, D. J., McNamara, N., Nussbaum, M. A., & Kim, S. (2021). Adoption potential of occupational exoskeletons in diverse enterprises engaged in manufacturing tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103103>
- Scotto, F., Tamantini, C., Di Maro, R., Carnazzo, C., Spada, S., Draicchio, F., & Zollo, L. (2025). Biomechanical and physiological effects of passive upper limb exoskeletons in simulated manufacturing tasks. *Wearable Technologies*, 6. <https://doi.org/10.1017/wtc.2025.10021>
- Shah, C. (2024, 4 de noviembre). *Exoesqueletos pasivos vs. MTN Shop*. <https://shopmtn.eu/es/blogs/noticias/exoesqueletos-pasivos-vs>
- Sheng, W., Ghalichi, F., Ding, L., Yu, C., Lu, M., & Ye, X. (2025). Muscle Activation Reduction During Walking with an Active Hip Exoskeleton. *Biomimetics*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/biomimetics10010024>
- Sreenivasan, G., Zhu, C., & Yi, J. (2025). Exoskeleton-Assisted Stance and Kneeling Balance and Work Task Evaluation in Construction. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 1. <https://doi.org/10.1109/TASE.2025.3538532>
- Sridhar, E. P., Erel, V., Nasirian, A., Wijesundara, M. B. J., & Rahman, M. (2025). Design, development, and evaluation of a pneumatically actuated soft wearable robotic elbow exoskeleton for reducing muscle activity and perceived workload. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 12, 20556683251347516. <https://doi.org/10.1177/20556683251347517>
- Tandi, O., Mapindu, I., Muhla, T., Chinguwo, N., & Tayisepi, N. (2025). Design and analysis of a passive upper limb exoskeleton for augmented construction worker strength. *Open Access Research Journal of Science and Technology*, 13(2), 079–088. <https://doi.org/10.53022/oarjst.2025.13.2.0050>
- van Sluijs, R., Scholtysik, T., Brunner, A., Kuoni, L., Bee, D., Kos, M., Bartenbach, V., & Lambercy, O. (2024). Design and evaluation of the OmniSuit: A passive occupational exoskeleton for back and

- shoulder support. *Applied Ergonomics*, 120, 104332. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104332>
- Vázquez, J., Cortez, L., Cortes, D., & Duran, T. (2025). Experience of falls in older adults: an analysis from emotional intelligence. *Rev. Salud y Bienestar Social*, 9(1), 2025.
- Wang, J., Li, Y., Yang, G. Y., & Jin, K. (2025). Age-Related Dysfunction in Balance: A Comprehensive Review of Causes, Consequences, and Interventions. In *Aging and Disease* (Vol. 16, Number 2, pp. 714–737). International Society on Aging and Disease. <https://doi.org/10.14336/AD.2024.0124-1>
- Zelik, K. E., Nurse, C. A., Schall, M. C., Sesek, R. F., Marino, M. C., & Gallagher, S. (2022). An ergonomic assessment tool for evaluating the effect of back exoskeletons on injury risk. *Applied Ergonomics*, 99, 103619. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103619>
- Zhou, J., Liu, Y., Mo, X., Chong, W., Meng, X., Li, Q., Wang, Y., & Zhang, A. (2020). A preliminary study of the military applications and future of individual exoskeletons. *Journal of Physics: Conference Series*, 1507(10). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1507/10/102044>
- Zhou, N., Liu, Y., Song, Q., Qi, Z., Ren, W., & Zhang, K. (2022). Analysis, design and preliminary evaluation of an anthropometric self-stabilization passive exoskeleton for enhancing the ability of walking with loads. *Robotics and Autonomous Systems*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104079>



Todos los contenidos de la revista **Ergonomía, Investigación y Desarrollo** se publican bajo una [Licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) y pueden ser usados gratuitamente, dando los créditos a los autores y a la revista, como lo establece la licencia