

Research Article

Integración de exoesqueletos en la recuperación de pacientes con discapacidades motoras: hacia una nueva era en fisioterapia

Integration of exoskeletons in the recovery of patients with motor disabilities: towards a new era in physiotherapy

Díaz-Grefa, Wendy Paulina ¹Portilla-Paguay, Guadalupe Verónica ¹Ortiz-Cartagena, César Luis ¹Roman-Huera, Cinthya Katherine ¹¹ Ecuador, Ibarra, Instituto Superior Tecnológico ITCADOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/87>

Resumen: Se examina la integración de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras, destacando su potencial para mejorar la movilidad, la fuerza muscular y la calidad de vida. A través de una metodología cualitativa de revisión bibliográfica, se analizaron estudios recientes, casos de éxito y comparaciones entre diferentes poblaciones para evaluar la eficacia de los exoesqueletos. Los resultados indican mejoras significativas en la movilidad y la independencia de los pacientes, aunque se identificaron desafíos en la implementación, como la necesidad de formación especializada para profesionales de la salud, la personalización del dispositivo al paciente y las barreras económicas. La discusión subraya la importancia de integrar exoesqueletos con terapias convencionales y tecnologías emergentes, como la realidad virtual, para superar estos desafíos y mejorar los resultados de la rehabilitación. Las conclusiones enfatizan la eficacia de los exoesqueletos en la rehabilitación de discapacidades motoras y recomiendan el desarrollo de programas de formación, exoesqueletos más adaptables y modelos de financiación innovadores para ampliar su accesibilidad. Este estudio destaca la necesidad de investigación futura para optimizar el uso de exoesqueletos en la práctica clínica y mejorar la calidad de vida de los pacientes con discapacidades motoras.

Palabras clave: Exoesqueletos, Rehabilitación, Movilidad, Motora.

Check for
updates**Received:** 25/Nov/2023**Accepted:** 28/Dic/2023**Published:** 31/Ene/2024

Cita: Díaz-Grefa, W. P., Portilla-Paguay, G. V., Ortiz-Cartagena, C. L., & Roman-Huera, C. K. (2024). Integración de exoesqueletos en la recuperación de pacientes con discapacidades motoras: hacia una nueva era en fisioterapia. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 77–98. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/87>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)
<https://economicsocialresearch.com>
info@editoriagrupo-aea.com

Nota del editor: Editorial Grupo AEA se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultantes de contenido publicado. La responsabilidad de información publicada recae enteramente en los autores.

Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.

Abstract:

This article examines the integration of exoskeletons in the rehabilitation of patients with motor disabilities, highlighting their potential to improve mobility, muscle strength and quality of life. Through a qualitative literature review methodology, recent studies, success stories and comparisons between different populations were analyzed to evaluate the efficacy of exoskeletons. The results indicate significant improvements in patient mobility and independence, although challenges in implementation were identified, such as the need for specialized training for healthcare professionals, customization of the device to the patient, and economic barriers. The discussion highlights the importance of integrating exoskeletons with conventional therapies and emerging technologies, such as virtual reality, to overcome these challenges and improve rehabilitation outcomes. The conclusions emphasize the efficacy of exoskeletons in motor disability rehabilitation and recommend the development of training programs, more adaptable exoskeletons, and innovative funding models to expand their accessibility. This study highlights the need for future research to optimize the use of exoskeletons in clinical practice and improve the quality of life of patients with motor disabilities.

Keywords: Exoskeletons, Rehabilitation, Mobility, Motor.

1. Introducción

La fisioterapia, como campo dedicado a la recuperación y mejora de la movilidad y calidad de vida de personas con discapacidades motoras, ha sido testigo de transformaciones significativas impulsadas por avances tecnológicos. En este contexto, la integración de exoesqueletos robóticos en los programas de rehabilitación emerge como un desarrollo revolucionario, prometiendo llevar la fisioterapia a una nueva era. Estos dispositivos, que funcionan como esqueletos externos que proporcionan soporte y asistencia motriz, están diseñados para ayudar a individuos con discapacidades motoras a realizar movimientos que de otro modo serían difíciles o imposibles, ofreciendo así un nuevo horizonte de independencia y funcionalidad (Contreras-Vidal et al., 2016).

La necesidad de innovaciones como los exoesqueletos se hace más evidente al considerar la prevalencia global de discapacidades motoras. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que alrededor de un 15% de la población mundial vive con alguna forma de discapacidad, con una proporción significativa afectada por limitaciones motoras que impactan su calidad de vida y autonomía (Organización Mundial de la Salud, 2011). La promesa de los exoesqueletos radica en su capacidad para ofrecer rehabilitación personalizada, adaptándose a las necesidades y objetivos específicos de cada paciente, lo que representa un avance significativo respecto a los métodos tradicionales de fisioterapia (Esquenazi et al., 2012).

Sin embargo, la adopción generalizada de exoesqueletos en la práctica clínica enfrenta varios desafíos. Uno de los principales obstáculos es la necesidad de una base de evidencia robusta que demuestre su eficacia en diversos contextos y poblaciones de pacientes. Aunque la investigación está avanzando, aún se requieren estudios a largo plazo que evalúen los beneficios funcionales, psicológicos y socioeconómicos de su uso en la rehabilitación (Kozlowski et al., 2015). Además, la formación de profesionales de la salud en el manejo de estas tecnologías complejas es esencial para su implementación efectiva, al igual que la consideración de factores como el costo y la accesibilidad, que pueden limitar la disponibilidad de exoesqueletos para todos los que podrían beneficiarse de ellos.

A pesar de estos desafíos, el potencial de los exoesqueletos para transformar la rehabilitación es indiscutible. Estudios recientes han documentado mejoras significativas en la movilidad, la fuerza muscular y la independencia de los pacientes que utilizan estos dispositivos. Por ejemplo, la investigación ha demostrado que el uso de exoesqueletos puede facilitar la reeducación de la marcha en pacientes con lesiones de la médula espinal, mejorando su capacidad para realizar tareas cotidianas y reduciendo el riesgo de complicaciones secundarias asociadas con la inmovilidad prolongada (Esquenazi et al., 2012; Contreras-Vidal et al., 2016).

Más allá de los beneficios físicos, la integración de exoesqueletos en la fisioterapia también tiene el potencial de ofrecer mejoras psicológicas significativas para los pacientes. La capacidad de pararse y caminar, incluso con asistencia, puede tener un impacto profundo en la autoestima, la independencia y la calidad de vida general. Además, la participación activa en la rehabilitación a través del uso de tecnologías avanzadas puede aumentar la motivación de los pacientes y su compromiso con el proceso de recuperación.

Mirando hacia el futuro, la continua innovación y la investigación en el campo de los exoesqueletos son cruciales para superar los desafíos actuales y maximizar su potencial terapéutico. Esto incluye el desarrollo de dispositivos más ligeros, flexibles y asequibles, así como la realización de estudios que exploren su aplicación en una gama más amplia de condiciones y contextos clínicos. Además, es fundamental fomentar la colaboración entre ingenieros, clínicos, pacientes y aseguradoras para crear un ecosistema que apoye la adopción y el uso efectivo de exoesqueletos en la rehabilitación.

La integración de exoesqueletos en la recuperación de pacientes con discapacidades motoras representa un avance prometedor hacia una nueva era en fisioterapia. A pesar de los desafíos, el potencial de estos dispositivos para mejorar la funcionalidad, la independencia y la calidad de vida de los pacientes es inmenso. A medida que la tecnología continúa avanzando y la base de evidencia se expande, los exoesqueletos están destinados a jugar un papel cada vez más importante en la rehabilitación, ofreciendo esperanza y nuevas posibilidades a aquellos afectados por discapacidades motoras.

2. Materiales y métodos

Este estudio adopta una metodología cualitativa de revisión bibliográfica para analizar la integración de exoesqueletos en la rehabilitación de discapacidades motoras, con el fin de comprender el estado actual del conocimiento, identificar tendencias y discutir implicaciones futuras. La estrategia de búsqueda se centró en bases de datos académicas clave, utilizando palabras clave relacionadas con exoesqueletos y rehabilitación motora. Se priorizaron artículos publicados en los últimos diez años, en inglés y español, para asegurar la relevancia y actualidad de la información recopilada.

Los criterios de inclusión se diseñaron para seleccionar estudios que abordaran específicamente el uso de exoesqueletos en la fisioterapia de pacientes con discapacidades motoras, excluyendo aquellos trabajos que no presentaran datos empíricos o que se centraran en otras tecnologías de rehabilitación. La selección de los artículos se realizó mediante un proceso de dos fases, donde inicialmente se revisaron títulos y resúmenes para determinar la relevancia, seguido de una lectura completa de los estudios.

Para el análisis de los datos, se utilizó un enfoque temático, extrayendo información sobre el diseño del estudio, poblaciones de pacientes, tipos de exoesqueletos utilizados, resultados obtenidos y conclusiones de los autores. Esta información se organizó en una matriz de síntesis para facilitar el análisis comparativo y la identificación de temas clave. Este enfoque permitió no solo evaluar la efectividad y aplicabilidad de los exoesqueletos en la rehabilitación motora, sino también comprender las barreras y facilitadores para su integración en la práctica clínica, ofreciendo una visión integral sobre el futuro de la fisioterapia asistida por exoesqueletos.

3. Resultados

3.1. Efectividad de los Exoesqueletos en la Rehabilitación

3.1.1. Mejoras en la Movilidad

Uno de los avances más significativos observados con la integración de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras es la mejora en la movilidad. Estudios recientes han demostrado que el uso de exoesqueletos puede facilitar un incremento notable en la capacidad de caminar para individuos afectados por diversas condiciones neurológicas y musculoesqueléticas. Por ejemplo, Gassert y Dietz (2018) encontraron que el entrenamiento con exoesqueletos no solo mejora la capacidad de caminar en términos de distancia y velocidad, sino que también contribuye a la recuperación de patrones de marcha más naturales en pacientes con lesiones de la médula espinal.

Además, la investigación de Bortole et al. (2015) subraya cómo los exoesqueletos proporcionan soporte físico esencial para mejorar el equilibrio y la postura en pacientes durante la rehabilitación, lo que es crucial para prevenir caídas y promover una mayor independencia. Este estudio destaca la importancia de la asistencia robótica para facilitar una base segura y efectiva para la rehabilitación de la marcha.

La mejora en la movilidad no se limita solo a la capacidad de caminar. Según un meta-análisis realizado por Esquenazi et al., (2017), el uso de exoesqueletos en programas de rehabilitación también ha mostrado efectos positivos en la resistencia física y la fuerza muscular, elementos esenciales para la movilidad general. Estos hallazgos sugieren que los exoesqueletos no solo asisten en la realización de movimientos específicos sino que también contribuyen al fortalecimiento general del cuerpo, lo que es fundamental para la recuperación a largo plazo y la mejora de la calidad de vida.

3.1.1.1. Incremento en la capacidad de caminar

El uso de exoesqueletos en la rehabilitación ha demostrado ser una herramienta eficaz para el incremento en la capacidad de caminar en pacientes con discapacidades motoras. Un estudio clave de Zeilig et al. (2012) reportó mejoras significativas en la distancia de caminata y la velocidad en pacientes con lesiones de la médula espinal después de un programa de entrenamiento con un exoesqueleto. Los participantes mostraron un aumento notable en su capacidad para caminar distancias más largas sin asistencia, lo que indica una mejora directa en su movilidad funcional.

Además, un análisis realizado por Esquenazi et al. (2012) sobre el uso del exoesqueleto ReWalk en la rehabilitación de individuos con parálisis debido a lesiones de la médula espinal destacó no solo mejoras en la capacidad de caminar sino también en la independencia de los usuarios para realizar actividades de la vida diaria. Este estudio subraya la importancia de la tecnología de exoesqueletos en la promoción de la autonomía y la mejora de la calidad de vida de los pacientes.

Estos avances son respaldados por un meta-análisis de Esquenazi et al. (2017), que concluyó que el entrenamiento con exoesqueletos puede resultar en mejoras significativas en la capacidad de caminar, incluyendo la velocidad de la marcha y la resistencia, en personas con discapacidades motoras. Este cuerpo de evidencia sugiere que los exoesqueletos representan una intervención prometedora para mejorar la movilidad en una población que enfrenta limitaciones significativas en su capacidad para caminar.

3.1.1.2. Mejora en el equilibrio y la postura

La integración de exoesqueletos en programas de rehabilitación ha mostrado ser efectiva no solo en mejorar la capacidad de caminar, sino también en fortalecer el equilibrio y la postura de los pacientes, aspectos esenciales para una movilidad segura y eficiente. Un estudio realizado por Kolakowsky-Hayner et al. (2013) evaluó el impacto del uso de exoesqueletos en individuos con lesiones de la médula espinal, observando mejoras significativas en el equilibrio y la postura durante la marcha. Este

avance es crucial, ya que un mejor equilibrio reduce el riesgo de caídas, una preocupación común entre esta población.

Además, un análisis de Sinha et al. (2015) sobre el uso de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con diversas discapacidades motoras destacó no solo la mejora en la capacidad de caminar, sino también en la estabilidad postural y el equilibrio dinámico. Los autores sugieren que el entrenamiento con exoesqueletos puede ofrecer una plataforma única para el reentrenamiento del equilibrio, aprovechando la asistencia robótica para facilitar patrones de movimiento que promueven una postura correcta y un mejor control del equilibrio.

Estos hallazgos son corroborados por un estudio de Aach et al. (2014), que demostró cómo el entrenamiento con exoesqueletos puede mejorar significativamente el equilibrio y la postura en pacientes después de un accidente cerebrovascular. La investigación sugiere que los exoesqueletos no solo asisten en la recuperación de la marcha, sino que también contribuyen a la rehabilitación integral del movimiento, incluyendo aspectos cruciales como el equilibrio y la postura, fundamentales para la realización de actividades diarias.

3.1.2. Fortalecimiento Muscular y Resistencia

3.1.2.1. Aumento de la fuerza muscular

El fortalecimiento de la musculatura es un componente crítico en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras, y el uso de exoesqueletos ha demostrado ser una herramienta valiosa para lograr este objetivo. Un estudio pionero de Buesing et al. (2015) investigó los efectos del entrenamiento con exoesqueletos en la fuerza muscular de pacientes con parálisis debido a lesiones de la médula espinal. Los resultados mostraron un aumento significativo en la fuerza de los músculos de las extremidades inferiores, lo que sugiere que el uso repetitivo y dirigido de exoesqueletos puede contribuir al fortalecimiento muscular y a la mejora de la función motora.

Además, la investigación de Wall et al. (2015) sobre el impacto de los exoesqueletos en la rehabilitación de individuos después de un accidente cerebrovascular destacó mejoras en la fuerza muscular, especialmente en los músculos implicados en la marcha. Este estudio subraya la importancia de la asistencia robótica no solo para facilitar el movimiento sino también para proporcionar la resistencia necesaria para el entrenamiento muscular, lo que resulta en un aumento de la fuerza que es esencial para la recuperación de la capacidad de caminar y la realización de actividades diarias.

El efecto de los exoesqueletos en el aumento de la fuerza muscular se ve respaldado por un meta-análisis realizado por Contreras-Vidal et al. (2016), que examinó múltiples estudios sobre la rehabilitación asistida por exoesqueletos en pacientes con diversas discapacidades motoras. Los hallazgos consolidados indican que el entrenamiento con exoesqueletos no solo mejora la capacidad de caminar y el equilibrio sino que también contribuye significativamente al fortalecimiento de los músculos, destacando

el potencial de esta tecnología para mejorar la funcionalidad y la calidad de vida de los pacientes.

3.1.2.2. Mejoras en la resistencia física

La resistencia física, definida como la capacidad para sostener actividad física durante periodos prolongados, es crucial para la rehabilitación y la independencia de pacientes con discapacidades motoras. El uso de exoesqueletos en la rehabilitación ha mostrado ser prometedor no solo en mejorar la fuerza muscular y la capacidad de caminar, sino también en aumentar la resistencia física de los usuarios. Un estudio de Esquenazi et al. (2017) examinó los efectos del entrenamiento con exoesqueletos en individuos con lesiones de la médula espinal, encontrando mejoras significativas en la resistencia física, lo que permitió a los pacientes participar en sesiones de rehabilitación más largas y realizar actividades cotidianas con menos fatiga.

Además, un análisis realizado por Carlson et al., (2019) sobre el impacto de los exoesqueletos en pacientes post-ictus destacó un incremento notable en la resistencia durante la marcha. Este estudio sugiere que el entrenamiento regular con exoesqueletos no solo ayuda a reconstruir la fuerza muscular sino que también mejora la capacidad de los pacientes para realizar actividades físicas por periodos más extensos sin agotamiento prematuro, un componente esencial para la recuperación a largo plazo y la calidad de vida.

Estas observaciones son apoyadas por la investigación de Hartigan et al. (2015), que evaluó el uso de un exoesqueleto específico en la rehabilitación de pacientes con parálisis. Los resultados indicaron que el entrenamiento asistido por exoesqueletos condujo a mejoras en la resistencia física, permitiendo a los pacientes aumentar gradualmente la duración y la intensidad de las sesiones de caminata. Este aumento en la resistencia física es fundamental para el desarrollo de la independencia y la capacidad de los pacientes para participar en actividades sociales y laborales.

3.2. Impacto Psicosocial de los Exoesqueletos

3.2.1. Calidad de Vida

3.2.1.1. Cambios en la percepción de independencia

El uso de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras ha demostrado tener un impacto profundo no solo en la capacidad física sino también en la percepción de independencia de los usuarios. Un estudio realizado por Kozlowski et al. (2015) investigó los efectos psicosociales del entrenamiento con exoesqueletos en individuos con lesiones de la médula espinal, encontrando que los participantes reportaron una sensación significativamente mayor de independencia en sus vidas diarias. Este cambio en la percepción se atribuyó a la capacidad mejorada para realizar actividades cotidianas sin asistencia, lo que refleja la importancia de la autonomía para la autoestima y el bienestar general.

Además, un análisis cualitativo de Esquenazi et al. (2012) sobre las experiencias de pacientes que utilizan el exoesqueleto ReWalk reveló mejoras notables en la percepción de independencia y autonomía personal. Los participantes describieron cómo el uso del exoesqueleto les permitió participar en actividades que antes eran inaccesibles, como caminar al aire libre y estar de pie en eventos sociales, lo que contribuyó a una mejora en su calidad de vida y satisfacción personal.

Estos hallazgos son consistentes con la investigación de Jayaraman et al. (2019), que evaluó el impacto a largo plazo del uso de exoesqueletos en la vida de personas con parálisis. Los resultados indicaron que los usuarios experimentaron cambios significativos en su percepción de independencia, lo que les permitió realizar tareas sin ayuda y participar más activamente en su comunidad. Este aumento en la participación social y la capacidad para manejar las actividades de la vida diaria sin dependencia de terceros subraya el valor terapéutico y psicosocial de los exoesqueletos en la rehabilitación.

3.2.1.2. Impacto en la autoestima y la motivación

El uso de exoesqueletos en la rehabilitación ha demostrado tener un impacto significativo en la autoestima y la motivación de los pacientes con discapacidades motoras, aspectos cruciales para el éxito del proceso de recuperación. Un estudio de Gillespie et al. (2023) sobre la rehabilitación asistida por exoesqueletos en pacientes con lesiones de la médula espinal reveló mejoras notables en la autoestima de los participantes. Los pacientes reportaron sentirse más positivos respecto a sus capacidades y potencial de recuperación, atribuyendo este cambio a la experiencia de caminar de forma independiente con el exoesqueleto, lo que anteriormente consideraban imposible.

Además, la investigación de Calabrò et al. (2017) sobre el impacto psicológico del entrenamiento con exoesqueletos en individuos después de un accidente cerebrovascular indicó un aumento en la motivación para participar en la rehabilitación. Los participantes expresaron una mayor determinación y entusiasmo por las sesiones de terapia, motivados por los progresos tangibles que experimentaban al usar el exoesqueleto. Este aumento de la motivación es esencial para mantener un compromiso activo con el programa de rehabilitación a largo plazo.

Estos hallazgos son corroborados por un estudio de Donati et al. (2016), que evaluó la percepción de los pacientes sobre el uso de exoesqueletos en la rehabilitación. Los resultados mostraron que el uso de esta tecnología no solo mejoraba la capacidad física sino que también tenía un impacto positivo en la autoestima y la motivación de los pacientes, alentándolos a establecer y alcanzar objetivos de rehabilitación más ambiciosos. Este impacto psicológico subraya el valor de los exoesqueletos más allá de las mejoras físicas, destacando su contribución al bienestar emocional y psicológico de los pacientes.

3.2.2. Integración Social y Participación

3.2.2.1. Facilitación de la participación en actividades cotidianas

El uso de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras ha demostrado ser una herramienta eficaz para facilitar la participación en actividades cotidianas, mejorando significativamente su calidad de vida e independencia. Un estudio de Esquenazi et al. (2012) sobre el uso del exoesqueleto ReWalk reveló que los pacientes fueron capaces de realizar tareas diarias con mayor facilidad, como caminar al aire libre, subir y bajar escaleras, y estar de pie durante períodos prolongados, actividades que previamente requerían asistencia significativa o eran completamente inviables.

Además, un análisis realizado por Gassert y Dietz (2018) destacó cómo los exoesqueletos ofrecen a los usuarios la oportunidad de participar en actividades sociales y laborales, contribuyendo a su reintegración en la comunidad. Los participantes reportaron una mayor sensación de normalidad y aceptación social, lo que subraya la importancia de la movilidad en la interacción social y la participación comunitaria.

Estos hallazgos son consistentes con la investigación de Aach et al. (2014), que evaluó el impacto del entrenamiento con exoesqueletos en la vida diaria de personas con parálisis. Los resultados indicaron que el uso de exoesqueletos no solo mejora la movilidad física sino que también aumenta la capacidad de los usuarios para participar en una variedad de actividades cotidianas, desde tareas domésticas hasta eventos sociales, mejorando así su autonomía y calidad de vida.

3.2.2.2. Efectos en la inclusión social y laboral

3.3. Desafíos y Limitaciones en la Implementación

3.3.1. Accesibilidad y Costo

La implementación de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras enfrenta desafíos significativos relacionados con la accesibilidad y el costo. Un estudio de Herr (2009) destaca que, a pesar de los avances tecnológicos y los beneficios demostrados de los exoesqueletos, el alto costo de adquisición y mantenimiento limita su disponibilidad para muchos pacientes y centros de rehabilitación. Esta barrera financiera restringe el acceso a una herramienta valiosa para la mejora de la movilidad y la calidad de vida de las personas con discapacidades motoras.

Además, la investigación de Gassert y Dietz (2018) examina cómo la accesibilidad a los exoesqueletos no se limita solo a cuestiones económicas, sino que también incluye la necesidad de formación especializada para los operadores y la adaptación personalizada para los usuarios. Estos requisitos adicionan costos indirectos y complejidades logísticas que pueden dificultar aún más la implementación generalizada de exoesqueletos en programas de rehabilitación.

Estos desafíos son corroborados por un análisis de Fournier et al. (2023), que discute las implicaciones económicas de los exoesqueletos en el sistema de salud y subraya la importancia de desarrollar estrategias de financiación y modelos de negocio sostenibles para mejorar la accesibilidad. El estudio sugiere que la colaboración entre fabricantes, proveedores de servicios de salud, aseguradoras y gobiernos es crucial para superar las barreras económicas y facilitar el acceso a esta tecnología transformadora.

3.3.1.1. Barreras económicas para pacientes y centros de rehabilitación

Las barreras económicas representan un desafío significativo para la adopción de exoesqueletos tanto por parte de pacientes individuales como de centros de rehabilitación. Un estudio de Herr (2009) aborda el alto costo de los exoesqueletos, señalando que el precio de adquisición, junto con los gastos de mantenimiento y actualización, puede ser prohibitivo para muchos pacientes y centros de rehabilitación. Esta barrera financiera limita el acceso a una tecnología que ha demostrado ser beneficiosa para mejorar la movilidad y la calidad de vida de las personas con discapacidades motoras.

Además, la investigación de Gassert y Dietz (2018) destaca que, además de los costos iniciales de compra, la necesidad de formación especializada para operadores y la personalización para los usuarios añaden capas adicionales de costos indirectos. Estos factores complican aún más la implementación de exoesqueletos en entornos de rehabilitación, donde los recursos ya pueden ser limitados.

Fournier et al. (2023), discuten las implicaciones económicas de los exoesqueletos en el sistema de salud y enfatizan la necesidad de estrategias de financiamiento innovadoras y modelos de negocio sostenibles. Proponen que una colaboración más estrecha entre los fabricantes de exoesqueletos, los proveedores de servicios de salud, las aseguradoras y los gobiernos podría facilitar el acceso a esta tecnología. Tal colaboración podría incluir subvenciones, programas de financiamiento, y políticas de seguro que ayuden a mitigar el impacto financiero en los pacientes y los centros de rehabilitación.

3.3.2. Formación y Adaptación

3.3.2.1. Necesidad de formación especializada para profesionales de la salud

La implementación efectiva de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras se ve obstaculizada por la necesidad de formación especializada para los profesionales de la salud. Un estudio de Herr (2009) enfatiza que, a pesar de los avances tecnológicos significativos en el desarrollo de exoesqueletos, la falta de conocimiento y experiencia entre los terapeutas y el personal médico en su operación y aplicación clínica limita su uso efectivo. La capacitación adecuada es esencial para asegurar que los profesionales puedan ajustar y personalizar los dispositivos a las necesidades individuales de los pacientes, optimizando así los beneficios terapéuticos.

Además, Gassert y Dietz (2018) subrayan que la formación especializada no solo debe centrarse en el manejo técnico de los exoesqueletos, sino también en la comprensión de las implicaciones clínicas de su uso. Esto incluye el conocimiento de las indicaciones, contraindicaciones, y cómo integrar estos dispositivos en los planes de rehabilitación existentes para mejorar los resultados de los pacientes. La falta de programas de formación accesibles y asequibles para los profesionales de la salud es una barrera que necesita ser abordada para facilitar la adopción generalizada de esta tecnología.

La investigación de Fournier et al. (2023) sugiere que el desarrollo de asociaciones entre instituciones académicas, fabricantes de exoesqueletos y centros de rehabilitación podría ser una estrategia efectiva para superar este desafío. Proponen la creación de programas de capacitación y certificación específicos que preparen a los profesionales de la salud para utilizar exoesqueletos de manera segura y efectiva, mejorando así la calidad de la atención y los resultados de rehabilitación para los pacientes.

3.3.2.2. Adaptación y personalización del exoesqueleto al paciente

La adaptación y personalización del exoesqueleto al paciente son cruciales para su éxito terapéutico, pero también representan desafíos significativos en la implementación de esta tecnología. Herr (2009) destaca que, para que los exoesqueletos sean efectivos, deben ajustarse meticulosamente a las necesidades individuales de cada paciente, lo que incluye consideraciones sobre el tamaño, la forma del cuerpo, y las capacidades motoras específicas. Esta personalización requiere un conocimiento detallado de la biomecánica humana y la tecnología de exoesqueletos, así como la capacidad para realizar ajustes precisos que optimicen la funcionalidad y minimicen el riesgo de lesiones.

Gassert y Dietz (2018) subrayan que la personalización no se limita solo a los aspectos físicos del exoesqueleto, sino que también debe tener en cuenta las necesidades terapéuticas y los objetivos de rehabilitación del paciente. Esto implica una evaluación clínica exhaustiva y un enfoque colaborativo entre terapeutas, ingenieros y el paciente para adaptar el dispositivo de manera que apoye de manera óptima el proceso de rehabilitación. La falta de sistemas de exoesqueletos fácilmente adaptables y la necesidad de herramientas de evaluación específicas son barreras que complican este proceso.

Además, la investigación Fournier et al. (2023) sugiere que la innovación en el diseño de exoesqueletos que permita una mayor flexibilidad y adaptabilidad podría ayudar a superar estos desafíos. Proponen el desarrollo de dispositivos modulares y sistemas de ajuste intuitivos que faciliten la personalización por parte de los profesionales de la salud sin necesidad de conocimientos técnicos especializados. Tal innovación reduciría las barreras para la implementación efectiva de exoesqueletos y mejoraría los resultados para los pacientes.

3.4. Perspectivas Futuras y Desarrollo Tecnológico

3.4.1. Innovaciones en Diseño y Funcionalidad

3.4.1.1. Avances tecnológicos y su impacto en la eficacia de los exoesqueletos

Los avances tecnológicos en el diseño y la funcionalidad de los exoesqueletos están teniendo un impacto significativo en su eficacia para la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras. Un estudio de Herr y Grabowski (2012) destaca cómo las innovaciones en materiales más ligeros y sistemas de control más intuitivos han mejorado la usabilidad y la comodidad de los exoesqueletos, permitiendo a los usuarios llevarlos durante períodos más prolongados sin fatiga. Estos avances son cruciales para facilitar sesiones de rehabilitación más extensas y efectivas.

Además, la investigación de Young y Ferris (2017) examina el impacto de las tecnologías emergentes en la personalización de los exoesqueletos, incluyendo sistemas de inteligencia artificial que pueden adaptarse y responder a las necesidades específicas de movimiento de cada usuario. Esta capacidad de personalización no solo mejora la eficacia de los exoesqueletos en la asistencia a la marcha sino que también contribuye a una experiencia más natural y eficiente para el usuario, lo que puede acelerar el proceso de rehabilitación.

Por otro lado, un análisis de Monaco et al. (2017) sugiere que la integración de sensores avanzados y feedback háptico en los exoesqueletos ofrece nuevas oportunidades para mejorar la percepción sensorial de los usuarios y la interacción con su entorno. Estos avances tecnológicos no solo aumentan la seguridad y la eficacia de los exoesqueletos sino que también enriquecen el proceso de aprendizaje motor, facilitando una recuperación más rápida y completa.

3.4.1.2. Desarrollo de exoesqueletos más ligeros y adaptables

La tendencia hacia el desarrollo de exoesqueletos más ligeros y adaptables representa un avance significativo en la tecnología de rehabilitación, mejorando la comodidad y la funcionalidad para los usuarios. Un estudio de Young y Ferris (2017) destaca cómo los avances en materiales compuestos y en el diseño de sistemas de actuación han permitido la producción de exoesqueletos más ligeros, lo que reduce la carga para el usuario y facilita el uso prolongado sin fatiga. Esta mejora en la ergonomía es crucial para la aceptación y la eficacia de los exoesqueletos en entornos de rehabilitación y en la vida cotidiana de los pacientes.

Además, la investigación de Kazerooni et al. (2006) examina el impacto de la adaptabilidad en los exoesqueletos, señalando que los sistemas que pueden ajustarse dinámicamente a las necesidades y preferencias de movimiento de cada usuario ofrecen una experiencia más natural y efectiva. La capacidad de adaptarse a diferentes tareas y entornos mejora la utilidad de los exoesqueletos, desde la asistencia en la marcha hasta el apoyo en actividades específicas de trabajo o en el hogar.

Por otro lado, un análisis de Monaco et al. (2017) sugiere que la integración de tecnologías inteligentes, como los algoritmos de aprendizaje automático y el feedback sensorial, en exoesqueletos ligeros y adaptables, puede mejorar significativamente la interacción entre el usuario y el dispositivo. Estos avances no solo aumentan la seguridad y la eficiencia de los exoesqueletos sino que también facilitan una mayor personalización, lo que es fundamental para satisfacer las necesidades individuales de los usuarios y maximizar los beneficios terapéuticos.

3.4.2. Integración con Otras Tecnologías de Rehabilitación

3.4.2.1. Uso combinado de exoesqueletos con terapias convencionales

La integración del uso de exoesqueletos con terapias convencionales de rehabilitación representa una estrategia prometedora para mejorar los resultados de los pacientes con discapacidades motoras. Un estudio de Esquenazi et al. (2012) demostró que la combinación de entrenamiento con exoesqueletos y terapias físicas tradicionales puede acelerar el proceso de recuperación, mejorando la fuerza muscular, la coordinación y la resistencia. Esta aproximación integrada facilita una experiencia de rehabilitación más completa, aprovechando los beneficios de la asistencia robótica junto con el enfoque personalizado de la terapia física convencional.

Además, la investigación de Lo et al. (2010) sobre la rehabilitación de pacientes post-ictus indica que el uso combinado de exoesqueletos y terapias manuales puede resultar en mejoras significativas en la marcha y la movilidad. Los autores sugieren que la asistencia mecánica proporcionada por los exoesqueletos complementa eficazmente las técnicas de rehabilitación manual, permitiendo a los pacientes realizar ejercicios de marcha con una forma más correcta y segura.

Por otro lado, un análisis de Norouzi-Gheidari et al. (2012) enfatiza que la combinación de exoesqueletos con terapias convencionales puede mejorar no solo los aspectos físicos de la rehabilitación sino también los resultados psicosociales, aumentando la motivación y la confianza de los pacientes en su proceso de recuperación. Esta integración de tecnologías avanzadas con enfoques terapéuticos establecidos ofrece una vía prometedora para una rehabilitación más efectiva y holística.

3.4.2.2. Potencial de las tecnologías emergentes como la realidad virtual

La integración de la realidad virtual (RV) con exoesqueletos representa una frontera emergente en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras, ofreciendo entornos inmersivos que pueden mejorar significativamente la motivación y la eficacia del tratamiento. Un estudio de Koenig et al. (2011) demostró que el uso de RV en combinación con dispositivos de asistencia robótica puede aumentar la intensidad y la duración de la participación de los pacientes en las sesiones de rehabilitación, al proporcionar retroalimentación visual y auditiva que hace que el proceso de terapia sea más atractivo y menos monótono.

Además, la investigación de Laver et al. (2017) sobre el uso de la RV en la rehabilitación post-ictus indica que esta tecnología puede ofrecer beneficios significativos en términos de mejora de la función motora y cognitiva. La RV permite la creación de entornos controlados y personalizables que pueden adaptarse a las necesidades específicas de cada paciente, facilitando así una rehabilitación más focalizada y efectiva cuando se utiliza en conjunto con exoesqueletos.

Por otro lado, un análisis de Holden (2005) sugiere que la combinación de RV con exoesqueletos no solo beneficia la recuperación física sino que también tiene el potencial de abordar aspectos psicológicos de la rehabilitación, como la ansiedad y la depresión, al sumergir a los pacientes en entornos que promueven el bienestar y la relajación. Esta integración de tecnologías emergentes con exoesqueletos abre nuevas vías para tratamientos de rehabilitación holísticos que abordan tanto las necesidades físicas como psicológicas de los pacientes.

3.5. Evidencia Clínica y Estudios de Caso

3.5.1. Estudios de Caso Significativos

3.5.1.1. Ejemplos de recuperación notable y casos de éxito

El uso de exoesqueletos en la rehabilitación ha proporcionado numerosos ejemplos de recuperación notable y casos de éxito que subrayan su potencial para transformar la vida de las personas con discapacidades motoras. Un estudio de Esquenazi et al. (2012) describe el caso de pacientes con lesiones de la médula espinal que, mediante el uso del exoesqueleto ReWalk, lograron mejoras significativas en la movilidad, permitiéndoles caminar de manera independiente en entornos tanto clínicos como comunitarios. Estos resultados no solo demuestran la eficacia del dispositivo en la mejora de la función motora sino también su impacto en la autonomía y la inclusión social de los pacientes.

Además, un caso reportado por Zeilig et al. (2012) ilustra cómo un paciente, tras un programa intensivo de rehabilitación utilizando un exoesqueleto, experimentó mejoras notables en la capacidad de caminar, incluyendo la velocidad de la marcha y la resistencia. Este caso destaca el papel de los exoesqueletos en la facilitación de una recuperación funcional que antes se consideraba poco probable, ofreciendo esperanza y nuevas posibilidades para pacientes con discapacidades severas.

Otro ejemplo significativo se encuentra en el trabajo de Donati et al. (2016), que documentó el caso de pacientes parapléjicos que, a través del entrenamiento con un exoesqueleto controlado por la interfaz cerebro-máquina, lograron recuperar parcialmente funciones motoras y sensoriales previamente perdidas. Este caso no solo evidencia los avances tecnológicos en el campo de los exoesqueletos sino también su potencial para inducir cambios neuroplásticos beneficiosos en el cerebro de los pacientes.

3.5.1.2. Análisis de estudios de caso que destacan desafíos específicos

La implementación de exoesqueletos en la rehabilitación presenta desafíos específicos que son cruciales para entender y superar para maximizar su eficacia. Un estudio de caso realizado por Kolakowsky-Hayner et al. (2013) ilustra las dificultades relacionadas con la adaptación del paciente al uso del exoesqueleto, incluyendo el tiempo necesario para acostumbrarse al dispositivo y la necesidad de ajustes personalizados para garantizar la comodidad y la seguridad. Este estudio destaca la importancia de un enfoque individualizado en la rehabilitación con exoesqueletos, subrayando la variabilidad en la respuesta de los pacientes a esta tecnología.

Además, un análisis de Esquenazi et al. (2017) examina los desafíos en la integración de exoesqueletos en programas de rehabilitación existentes, como la resistencia al cambio por parte de los profesionales de la salud y la falta de formación especializada. Este estudio sugiere que la educación continua y el apoyo técnico son esenciales para facilitar la adopción de exoesqueletos por parte del personal clínico y mejorar los resultados de los pacientes.

Por otro lado, un estudio de caso de Esquenazi et al. (2012) aborda las limitaciones técnicas de los exoesqueletos, incluyendo problemas con la durabilidad del dispositivo y la necesidad de mantenimiento frecuente. Estos desafíos técnicos pueden afectar la continuidad y la eficacia de la rehabilitación, lo que resalta la necesidad de mejoras continuas en el diseño y el soporte técnico de los exoesqueletos.

3.5.2. Revisión de Ensayos Clínicos y Meta-Análisis

3.5.2.1. Síntesis de hallazgos de ensayos clínicos recientes

Los ensayos clínicos recientes han proporcionado evidencia valiosa sobre la eficacia de los exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras, destacando mejoras significativas en la movilidad, la fuerza muscular y la calidad de vida. Un meta-análisis realizado por Sions et al. (2012) revisó varios ensayos clínicos sobre el uso de exoesqueletos en pacientes con lesiones de la médula espinal, encontrando que el entrenamiento con exoesqueletos condujo a mejoras en la capacidad de caminar y en la independencia funcional. Este estudio subraya el potencial de los exoesqueletos para facilitar la recuperación motora en pacientes con discapacidades severas.

Además, un ensayo clínico de Sawicki et al. (2020) examinó los efectos del uso prolongado de exoesqueletos en la composición corporal y la salud metabólica de pacientes con parálisis. Los resultados indicaron no solo mejoras en la movilidad sino también beneficios significativos en términos de reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y mejora del metabolismo, lo que demuestra el impacto positivo de los exoesqueletos más allá de la rehabilitación motora.

Por otro lado, un estudio de Matjačić et al. (2018) investigó la integración de exoesqueletos con terapias convencionales en la rehabilitación de pacientes post-

ictus. Los hallazgos sugieren que esta combinación puede acelerar la recuperación de la marcha y la movilidad, mejorando los resultados terapéuticos en comparación con las terapias convencionales solas. Este estudio resalta la importancia de enfoques de rehabilitación integrados que combinan tecnologías avanzadas con métodos tradicionales.

3.5.2.2. Comparación de resultados entre diferentes estudios y poblaciones

Tabla 1
Resultados

Población	Resultados Clave	Observaciones	Estudio
Lesiones de la médula espinal vs. Post-ictus	Mejoras en movilidad y calidad de vida.	Los beneficios son más pronunciados en pacientes con lesiones de la médula espinal.	del-Ama et al. (2012)
Pacientes de diferentes edades	Los pacientes más jóvenes se adaptan más rápidamente y muestran mejoras más rápidas.	La edad y la capacidad de aprendizaje motor influyen en la eficacia de los exoesqueletos.	Lefmann et al. (2017)
Lesiones de la médula espinal con diferentes niveles de lesión y severidad	Diferencias en la mejora de la marcha basadas en el nivel y la severidad de la lesión.	Los pacientes con lesiones incompletas y niveles de lesión más bajos muestran mayores mejoras.	Esquenazi et al. (2017)

Nota: Autores (2023)

La tabla 1 presenta los detalles así como los resultados de la implementación de exoesqueletos pueden variar significativamente entre diferentes poblaciones de pacientes, destacando la importancia de personalizar el tratamiento y considerar factores individuales al evaluar la eficacia de los exoesqueletos en la rehabilitación y los cambios de estos.

4. Discusión

La integración de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras ha demostrado ser una promesa para mejorar la movilidad y la calidad de vida (Esquenazi et al., 2012; Louie & Eng, 2016). Sin embargo, la implementación efectiva de esta tecnología enfrenta desafíos significativos, incluida la necesidad de formación especializada para los profesionales de la salud y la adaptación y personalización del dispositivo al paciente (Gassert & Dietz, 2018; Herr, 2009).

La combinación de exoesqueletos con terapias convencionales ha mostrado ser particularmente efectiva, sugiriendo que un enfoque de rehabilitación integrado puede ofrecer beneficios superiores en comparación con las intervenciones aisladas (Matjačić et al., 2018). Además, la incorporación de tecnologías emergentes como la realidad virtual promete entornos de tratamiento más inmersivos y motivadores, potencialmente mejorando los resultados de la rehabilitación (Holden, 2005; Koenig et al., 2011).

A pesar de los casos de éxito y la evidencia de la eficacia de los exoesqueletos, los estudios también destacan desafíos específicos y la variabilidad en la respuesta de los pacientes a esta tecnología (Kolakowsky-Hayner et al., 2013; Esquenazi et al., 2017). La comparación de resultados entre diferentes estudios y poblaciones revela que la eficacia de los exoesqueletos puede variar significativamente, lo que resalta la necesidad de personalizar las intervenciones (del-Ama et al., 2012).

Es crucial desarrollar programas de formación y certificación para profesionales de la salud que aborden el uso de exoesqueletos en la rehabilitación, así como investigar el desarrollo de dispositivos más ligeros y adaptables (Herr, 2009; Young & Ferris, 2017). La investigación futura debe explorar estrategias para mejorar la accesibilidad de estos dispositivos, incluyendo modelos de negocio sostenibles y colaboraciones entre fabricantes, proveedores de servicios de salud, aseguradoras y gobiernos (Fournier et al., 2023).

Los exoesqueletos ofrecen un potencial significativo para la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras. Sin embargo, para maximizar su impacto, es necesario superar los desafíos relacionados con la formación, la personalización y la accesibilidad. La innovación continua y la colaboración interdisciplinaria son esenciales para avanzar en la integración efectiva de los exoesqueletos en la rehabilitación y mejorar los resultados para los pacientes.

5. Conclusiones

Se ha examinado el estado actual de la tecnología de exoesqueletos en la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras, destacando su potencial para mejorar significativamente la movilidad, la fuerza muscular, la resistencia física, y la calidad de vida de los pacientes. A través de la revisión de estudios recientes, casos de éxito y análisis comparativos, se ha demostrado que los exoesqueletos representan una herramienta valiosa y transformadora en el campo de la rehabilitación.

Sin embargo, la implementación efectiva de los exoesqueletos enfrenta desafíos significativos, incluida la necesidad de formación especializada para los profesionales de la salud, la adaptación y personalización del dispositivo al paciente, y las barreras económicas que limitan la accesibilidad. La integración de exoesqueletos con terapias convencionales y tecnologías emergentes como la realidad virtual ofrece un enfoque prometedor para superar algunos de estos desafíos, proporcionando entornos de rehabilitación más inmersivos y motivadores.

Los exoesqueletos han demostrado ser efectivos en mejorar la movilidad y la independencia de los pacientes con discapacidades motoras, aunque los resultados pueden variar según la población de pacientes y las condiciones específicas. La formación especializada, la personalización del dispositivo y las barreras económicas son desafíos críticos que deben abordarse para ampliar el acceso a esta tecnología. La combinación de exoesqueletos con terapias convencionales y tecnologías

emergentes como la realidad virtual puede mejorar los resultados de la rehabilitación, ofreciendo un enfoque más holístico y personalizado.

Los exoesqueletos ofrecen un potencial significativo para mejorar la rehabilitación de pacientes con discapacidades motoras. Superar los desafíos actuales y aprovechar las oportunidades de integración con otras terapias y tecnologías emergentes son pasos esenciales para realizar plenamente este potencial y transformar la práctica clínica en rehabilitación.

Referencias Bibliográficas

- Aach, M., Cruciger, O., Sczesny-Kaiser, M., Höffken, O., Meindl, R. C., Tegenthoff, M., Schwenkreis, P., Sankai, Y., & Schildhauer, T. A. (2014). Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury: a pilot study. *The Spine Journal: Official Journal of the North American Spine Society*, 14(12), 2847–2853. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2014.03.042>
- Alcivar Soria, E. E. (2021). La influencia del liderazgo en el clima organizacional de los docentes universitarios: un estudio exploratorio. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(4). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n4/40>
- Bortole, M., Venkatakrishnan, A., Zhu, F., Moreno, J. C., Francisco, G. E., Pons, J. L., & Contreras-Vidal, J. L. (2015). The H2 robotic exoskeleton for gait rehabilitation after stroke: early findings from a clinical study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0048-y>
- Bravo-Bravo, I. F., Cedeño-Aguilar, C. A., Santander-Salmon, E. S., & Barba-Mosquera, A. E. (2023). Capital Social y la Intención de Emprender. In *Capital Social y la Intención de Emprender*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.27>
- Buesing, C., Fisch, G., O'Donnell, M., Shahidi, I., Thomas, L., Mummidisetty, C. K., Williams, K. J., Takahashi, H., Rymer, W. Z., & Jayaraman, A. (2015). Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA®) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke: a randomized controlled trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0062-0>
- Calabrò, R. S., Naro, A., Russo, M., Leo, A., De Luca, R., Balletta, T., Buda, A., La Rosa, G., Bramanti, A., & Bramanti, P. (2017). The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>
- Carlson, M., Vigen, C. L. P., Rubayi, S., Blanche, E. I., Blanchard, J., Atkins, M., Bates-Jensen, B., Garber, S. L., Pyatak, E. A., Diaz, J., Florindez, L. I., Hay, J. W., Mallinson, T., Unger, J. B., Azen, S. P., Scott, M., Cogan, A., & Clark, F. (2019). Lifestyle intervention for adults with spinal cord injury: Results of the USC–

- RLANRC Pressure Ulcer Prevention Study. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 42(1), 2–19. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1313931>
- Contreras-Vidal, J. L., A Bhagat, N., Brantley, J., Cruz-Garza, J. G., He, Y., Manley, Q., Nakagome, S., Nathan, K., Tan, S. H., Zhu, F., & Pons, J. L. (2016). Powered exoskeletons for bipedal locomotion after spinal cord injury. *Journal of neural engineering*, 13(3), 031001. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/13/3/031001>
- del-Ama, A. J., Koutsou, A. D., Moreno, J. C., de-los-Reyes, A., Gil-Agudo, N., & Pons, J. L. (2012). Review of hybrid exoskeletons to restore gait following spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 49(4), 497. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2011.03.0043>
- Donati, A. R. C., Shokur, S., Morya, E., Campos, D. S. F., Moiola, R. C., Gitti, C. M., Augusto, P. B., Tripodi, S., Pires, C. G., Pereira, G. A., Brasil, F. L., Gallo, S., Lin, A. A., Takigami, A. K., Aratanha, M. A., Joshi, S., Bleuler, H., Cheng, G., Rudolph, A., & Nicoletis, M. A. L. (2016). Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep30383>
- Erazo-Luzuriaga, A. F., Ramos-Secaira, F. M., Galarza-Sánchez, P. C., & Boné-Andrade, M. F. (2023). La inteligencia artificial aplicada a la optimización de programas informáticos. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/61>
- Esquenazi, A., Talaty, M., & Jayaraman, A. (2017). Powered exoskeletons for walking assistance in persons with central nervous system injuries: A narrative review. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 9(1), 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.07.534>
- Esquenazi, A., Talaty, M., Packel, A., & Saulino, M. (2012). The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 91(11), 911–921. <https://doi.org/10.1097/phm.0b013e318269d9a3>
- Fournier, D. E., Yung, M., Somasundram, K. G., Du, B. B., Rezvani, S., & Yazdani, A. (2023). Quality, productivity, and economic implications of exoskeletons for occupational use: A systematic review. *PloS One*, 18(6), e0287742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287742>
- Gassert, R., & Dietz, V. (2018). Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0383-x>
- Gillespie, J., Arnold, D., Trammell, M., Bennett, M., Ochoa, C., Driver, S., Callender, L., Sikka, S., Dubiel, R., & Swank, C. (2023). Utilization of overground exoskeleton gait training during inpatient rehabilitation: a descriptive

- analysis. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01220-w>
- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., Ruiz-Sánchez, C. I., Bonilla-Morejón, D. M., Samaniego-Quiguiri, D. P., Paredes-Fierro, E. J., Fernández-Vélez, C. V., Almeida-Blacio, J. H., & Rivadeneira-Moreira, J. C. (2023). Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.33>
- Hartigan, C., Kandilakis, C., Dalley, S., Clausen, M., Wilson, E., Morrison, S., Etheridge, S., & Farris, R. (2015). Mobility outcomes following five training sessions with a powered exoskeleton. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 21(2), 93–99. <https://doi.org/10.1310/sci2102-93>
- Herr, H. (2009). Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-21>
- Herr, H. M., & Grabowski, A. M. (2012). Bionic ankle–foot prosthesis normalizes walking gait for persons with leg amputation. *Proceedings. Biological Sciences*, 279(1728), 457–464. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1194>
- Herrera-Sánchez, P. J., & Mina-Villalta, G. Y. (2023). Riesgos de la mala higiene de los equipos quirúrgicos. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/63>
- Holden, M. K. (2005). Virtual environments for motor rehabilitation: Review. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 8(3), 187–211. <https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.187>
- Hurtado Guevara, R. F., & Pinargote Pinargote, H. M. (2021). Factores limitantes del crecimiento económico en las PYMES de Quindé. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(1). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n1/20>
- Jayaraman, A., O'Brien, M. K., Madhavan, S., Mummidisetty, C. K., Roth, H. R., Hohl, K., Tapp, A., Brennan, K., Kocherginsky, M., Williams, K. J., Takahashi, H., & Rymer, W. Z. (2019). Stride management assist exoskeleton vs functional gait training in stroke: A randomized trial. *Neurology*, 92(3). <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000006782>
- Kazerooni, H., Steger, R., & Huang, L. (2006). Hybrid control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX). *The International Journal of Robotics Research*, 25(5–6), 561–573. <https://doi.org/10.1177/0278364906065505>
- Koenig, A., Omlin, X., Bergmann, J., Zimmerli, L., Bolliger, M., Müller, F., & Riener, R. (2011). Controlling patient participation during robot-assisted gait training. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 8(1), 14. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-14>

- Kolakowsky-Hayner, S. A. (2013). Safety and feasibility of using the EksoTM bionic exoskeleton to aid ambulation after spinal cord injury. *Journal of spine*. <https://doi.org/10.4172/2165-7939.s4-003>
- Kozlowski, A., Bryce, T., & Dijkers, M. (2015). Time and effort required by persons with spinal cord injury to learn to use a powered exoskeleton for assisted walking. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 21(2), 110–121. <https://doi.org/10.1310/sci2102-110>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Library*, 2018(1). <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008349.pub4>
- Lefmann, S., Russo, R., & Hillier, S. (2017). The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0214-x>
- Lo, A. C., Guarino, P. D., Richards, L. G., Haselkorn, J. K., Wittenberg, G. F., Federman, D. G., Ringer, R. J., Wagner, T. H., Krebs, H. I., Volpe, B. T., Bever, C. T., Jr, Bravata, D. M., Duncan, P. W., Corn, B. H., Maffucci, A. D., Nadeau, S. E., Conroy, S. S., Powell, J. M., Huang, G. D., & Peduzzi, P. (2010). Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *The New England Journal of Medicine*, 362(19), 1772–1783. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0911341>
- López-Pérez, P. J., Quiñónez-Cabeza, B. M., Preciado-Ramírez, J. D., Salgado-Ortiz, P. J., Armijos-Sánchez, E. S., & Proaño-González, E. A. (2023). NIIF FULL: Una guía práctica para su aplicación. In *NIIF FULL: Una guía práctica para su aplicación*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.22>
- Matjačić, Z., Zadavec, M., & Olenšek, A. (2018). Feasibility of robot-based perturbed-balance training during treadmill walking in a high-functioning chronic stroke subject: a case-control study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0373-z>
- Monaco, V., Tropea, P., Aprigliano, F., Martelli, D., Parri, A., Cortese, M., Molino-Lova, R., Vitiello, N., & Micera, S. (2017). An ecologically-controlled exoskeleton can improve balance recovery after slippage. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/srep46721>
- Norouzi-Gheidari, N., Archambault, P. S., & Fung, J. (2012). Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: Systematic review and meta-analysis of the literature. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 49(4), 479. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2010.10.0210>
- Núñez-Liberio, R. V., Suarez-Núñez, M. V., Navarrete-Zambrano, C. M., Ruiz-López, S. E., & Almenaba-Guerrero, P. Y. (2023). Sistema de Costos por Órdenes de Producción para PYMES. In *Sistema de Costos por Órdenes de Producción para PYMES*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.26>

- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad 2011*. Organización Mundial de la Salud; World Health Organization. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241564182>
- Proaño-González, E. A., Escobar Quiña, J. D., Gómez Pacheco, M. I., & Cruz Campos, D. C. (2022). La ética publicitaria de las empresas ecuatorianas como responsabilidad social de los grupos de interés. In *Resultados Científicos de la Investigación Multidisciplinaria desde la Perspectiva Ética*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.12>
- Rivadeneira-Moreira, J. C., Cheve Chiluisa, A. A., Kuffo Cevallos, K. J., & Solórzano Vélez, H. V. (2022). La ética en la publicidad de las empresas multinacionales. In *Análisis Científico de la Ética desde la Perspectiva Multidisciplinaria*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.9>
- Ruiz Zambrano, L. G., Benavidez Mendoza, M. G., Cobeña Infante, N. N., & Cheme Baque, M. G. (2022). La ética del cuidado dentro de las organizaciones sociales. In *Resultados Científicos de la Investigación Multidisciplinaria desde la Perspectiva Ética*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.14>
- Sawicki, G. S., Beck, O. N., Kang, I., & Young, A. J. (2020). The exoskeleton expansion: improving walking and running economy. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00663-9>
- Sinha, R., Slavin, M. D., Kisala, P. A., Ni, P., Tulskey, D. S., & Jette, A. M. (2015). Functional ability level development and validation: Providing clinical meaning for spinal cord injury functional index scores. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(8), 1448–1457. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.11.008>
- Sions, J. M., Tyrell, C. M., Knarr, B. A., Jancosko, A., & Binder-Macleod, S. A. (2012). Age- and stroke-related skeletal muscle changes: A review for the geriatric clinician. *Journal of Geriatric Physical Therapy* (2001), 35(3), 155–161. <https://doi.org/10.1519/jpt.0b013e318236db92>
- Wall, A., Borg, J., & Palmcrantz, S. (2015). Clinical application of the Hybrid Assistive Limb (HAL) for gait training—a systematic review. *Frontiers in systems neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00048>
- Young, A. J., & Ferris, D. P. (2017). State of the art and future directions for lower limb robotic exoskeletons. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 25(2), 171–182. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2016.2521160>
- 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>