

**Estudio sobre el uso de los exoesqueletos como instrumento de protección de los  
trabajadores en procesos industriales manuales entre los años 2019 y 2024 a nivel  
internacional.**

Presentado por:

Laura Camila Pérez, Evelyn Álvarez Restrepo, John Fredy Velasco

Dirigido por:

María Alexandra Malagón Torres

Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano

Sociedad, cultura y creatividad

Estudios en psicología Talento Humano y Sociedad

Profesional en Gestión de la Seguridad y Salud Laboral

22 de noviembre del 2024

## **Resumen**

El presente trabajo de grado investiga el uso de exoesqueletos en la industria durante el periodo 2019-2024, enfocándose en su impacto en la productividad, la ergonomía y la reducción de lesiones laborales en el contexto de la Industria 4.0. Se aborda el creciente interés por tecnologías que mejoren la salud ocupacional y la eficiencia en el trabajo, en respuesta a la alta incidencia de desórdenes musculoesqueléticos. Se aborda el creciente interés en soluciones tecnológicas como los exoesqueletos.

El objetivo de esta investigación de rastreo documental es indagar en bases de datos sobre el uso de los exoesqueletos en la industria analizando la eficiencia y comodidad de estos, explorando la influencia social en la adopción de esta tecnología, incluyendo un marco teórico que define términos clave, como exoesqueleto y trastornos musculoesquelético, presentando teorías y enfoques relevantes que respaldan la investigación.

En el análisis de los hallazgos se encontró que los exoesqueletos son una herramienta clave para mejorar la seguridad en los trabajadores en las industrias y reducir los desórdenes musculoesqueléticos mejorando por ende la productividad, además pudiendo destacar los diferentes tipos de exoesqueletos, generando recomendaciones críticas que para mejorar la implementación de los exoesqueletos en los entornos laborales.

*Palabras claves:* Exoesqueleto, Riesgos, Función, Industria, Prevención

## **Introducción**

Los exoesqueletos industriales son dispositivos diseñados para asistir el cuerpo humano en tareas físicamente exigentes. Los exoesqueletos no son una tecnología reciente, sin embargo, su desarrollo y aplicación en entornos laborales han cobrado importancia en los últimos años gracias a los avances en automatización, robótica y digitalización. García (2023). En sus inicios, los exoesqueletos fueron principalmente utilizados con propósitos militares y médicos, sin embargo, a partir de los años 2000 empezaron a ser implementados en el sector industrial. La urgencia de potenciar las condiciones de trabajo y prevenir trastornos musculoesqueléticos, que representan una de las principales causas de ausencias laborales, ha propiciado la investigación y el avance de estos dispositivos.

El presente estudio propone analizar el uso de exoesqueletos en la industria entre los años 2019 y 2024, evaluando su influencia en la reducción de lesiones osteomusculares en el trabajo, la productividad y ergonomía, ya que se han convertido en una tecnología emergente dentro de la industria 4.0 como lo menciona el autor (Carvajal, 2017, p. 1), estos exoesqueletos forman parte de una iniciativa de investigación en Alemania que busca integrar sistemas de control avanzado con las tecnologías de la información y la comunicación (ICT) facilitando la conexión entre los trabajadores, los productos y los sistemas complejos.

En este sentido, los exoesqueletos no solo mejoran las condiciones laborales, sino que ayudan a reducir la fatiga y mitigar los riesgos de desórdenes musculoesqueléticos, inscribiéndose así dentro de la revolución tecnológica que distingue la industria 4.0.

Este trabajo analizará cómo la adopción de esta herramienta en distintos sectores industriales ha evolucionado con un enfoque particular en la transformación digital y la automatización que implica la Industria 4.0 especialmente; se discutirán los desafíos y tendencias

emergentes en su implementación; así como los efectos que estas tecnologías tienen en la interacción entre el ser humano y las máquinas, un elemento clave en la transformación de los procesos industriales actuales, como señala (Saa, 2021, p. 7), las estrategias de digitalización y los cambios tecnológicos son fundamentales para promover el desarrollo económico, mejorar la sostenibilidad y aumentar la productividad.

### **Planteamiento del problema**

Según la organización mundial de la salud (2021) una de las principales causas de las incapacidades laborales son los trastornos musculoesqueléticos, ya que afectan los músculos, las articulaciones y las posturas debido a movimientos repetitivos, posturas inadecuadas y esfuerzos físicos. Entre los trastornos musculoesqueléticos más relevantes se encuentran las lesiones crónicas de la médula espinal, las lesiones mucosas y los problemas de rodilla. Estas condiciones no sólo afectan la calidad de vida de los trabajadores, sino que también resultan en altos gastos económicos para múltiples sectores debido a la disminución de la productividad y los gastos médicos relacionados a la recuperación. La automatización y mecanización de los procesos industriales ha aumentado la preocupación por estos trastornos, y la tecnología ha comenzado a ofrecer soluciones innovadoras como exoesqueletos que brindan soporte mecánico para disminuir el peso físico durante las actividades laborales. Kumar y Singh (2020)

La implementación de los exoesqueletos varía mucho según la región, pero es más común en países como Japón y Alemania donde la automatización ha avanzado significativamente, específicamente en este último, se están enfrentando a desafíos importantes en términos de productividad, ergonomía y seguridad laboral, en sectores como la automoción, manufactura y logística.

Siendo pertinente indicar, que los años estudiados en el presente trabajo son entre el año 2019 al 2024, debido a que se experimentó una evidente manifestación en términos de interés, adopción e implementación de los exoesqueletos, tanto para mejorar la salud de las personas como incrementar la productividad en la industria alemana.

A pesar de los avances en esta tecnología, la integración masiva de los exoesqueletos enfrenta barreras como el costo elevado de inversión, la adaptación de los trabajadores y la falta de evidencia concluyente sobre sus beneficios a largo plazo.

Los escenarios previamente descritos plantean un análisis ciertamente más detallado, puntualmente frente a los impactos del exoesqueleto durante el proceso industrial alemán.

Es crucial para el presente trabajo identificar cómo la tecnología está moldeando el entorno laboral, sumado a identificar los principales síntomas que se pueden definir como barreras para su implementación. Al evaluar el retorno de inversión desde una perspectiva tanto económica como de salud ocupacional, se proporciona una visión integral de los beneficios y desafíos asociados con el uso de exoesqueletos en el sector industrial, contribuyendo a la mejora de la ergonomía y a la sostenibilidad de las prácticas laborales en un contexto de rápida evolución tecnológica.

Uno de los problemas críticos entre los muchos que parecen incidir, se encuentra el envejecimiento de la fuerza laboral, en países como Alemania, el aumento de enfermedades ocupacionales, particularmente los trastornos musculoesqueléticos derivados de sobreesfuerzos físicos, como el manejo o levantamiento de cargas pesadas, tal cual lo sugiere (García, 2019).

En este punto, las enfermedades ligadas a oficios operativos e industriales, en la industria no solo afectan la salud y el bienestar de los empleados, sino que también incrementan los costos

operativos debido al ausentismo y a la disminución significativa de la productividad, esto último se recopila en los estudios de la (European Agency for Safety and Health at Work, 2019).

En este orden de ideas, Alemania se presenta como país líder en la implementación de exoesqueletos industriales, los dispositivos diseñados para asistir físicamente a los trabajadores en diversas tareas exigentes, han logrado aliviar la carga física y ha demostrado que minimiza el riesgo de lesiones, entre su diversidad de estrategias, observamos que está dirigida a proteger a una envejecida población trabajadora y se dirige a enfrentar el incremento de los desórdenes musculoesqueléticos (Beil & Stuerzlinger, 2019).

Sin embargo, y a pesar de sus beneficios potenciales, la integración o implementación de los exoesqueletos se enfrenta a varios obstáculos, entre ellos, los elevados costos de adquisición y mantenimiento, problemas de ajustes ergonómicos, y la resistencia humana, la cual está representada en como algunos empleados se oponen o son reacios a adoptar el uso de estas tecnologías, esto principalmente es debido a la percepción de éstos, o la relación que éstos ven en el uso de éstos, con incomodidad o desconfianza en sus beneficios a largo plazo (Wandke, 2019).

Por consiguiente, es pertinente indicar la falta de documentación en países como (Colombia) sobre la efectividad y viabilidad de los exoesqueletos para reducir los trastornos musculoesqueléticos, lo que evidencia una necesidad urgente de investigación, adicional, no se encuentran datos sobre uso y viabilidad de TME, por consiguiente, no han sido suficientes los esfuerzos para contrarrestar el aumento de enfermedad laboral. Es por ello que, a pesar de la existencia de programas que promueven una buena higiene postural, vida saludable y sistemas de vigilancia epidemiológica, estos esfuerzos no han sido suficientes para contrarrestar el aumento de las enfermedades laborales relacionadas con sobrecargas físicas; las soluciones tecnológicas,

como los exoesqueletos, presentan una oportunidad prometedora para abordar este vacío en las intervenciones preventivas.

El uso de exoesqueletos en Alemania, un país que ha acogido con rapidez estas tecnologías, brinda un caso de estudio ideal para comprender sus efectos en el entorno industrial. En Alemania no solo se ha destacado por su envejecida fuerza laboral, sino también por la presión creciente sobre las industrias para aumentar la productividad y reducir los costos relacionados con el ausentismo, es entonces que esta investigación, por lo tanto, busca llenar el vacío existente en la literatura en relación con su adopción en otros contextos, utilizando los casos para evaluar lecciones que podrían ser útiles en países con una menor implementación de exoesqueletos (Steinhilber, B., Luger, T., Schwenkreis, P., Middeldorf, S., Bork, H., Mann, B., ... & Jäger, M. 2020).

Por estas razones y entre otras que más adelante se irán incorporando, este trabajo abordará la situación problemática que representa el incremento de los trastornos musculoesqueléticos en la industria y cómo los exoesqueletos pueden representar una solución efectiva en contextos con características similares.

Por todo lo anteriormente planteado se busca establecer ¿Que estudios internacionales documentan el uso de los exoesqueletos como instrumento de protección de los trabajadores de procesos industriales manuales entre los años 2019 y 2024, considerando los factores que influyen en la prevención de desórdenes musculoesqueléticos?

### **Objetivo General**

Describir que estudios internacionales documentan el uso de exoesqueletos como instrumento de protección de trabajadores en procesos industriales manuales entre los años 2019 y 2024, para considerar los factores que influyen en la prevención de desórdenes musculoesqueléticos

### **Objetivos Específicos**

- Revisar bases de datos con información sobre el uso y desarrollo de exoesqueletos en la industria, proporcionando fuentes académicas para la contextualización del estudio.
- Analizar los textos que han documentado la comodidad y efectividad en la utilización de los exoesqueletos en el ejercicio de su labor, además de las consecuencias por el uso de estos en los trabajadores.
- Identificar la influencia en las consecuencias sociales del entorno de los procesos industriales al asumir la utilización de exoesqueletos con el fin de verificar a largo plazo su utilización en las organizaciones operativas y/o industriales.

## **Justificación**

Las innovadoras tecnologías adoptadas por la industria son, en esencia, una de las formas más eficaces para abordar los desafíos actuales relacionados con la seguridad laboral, la productividad y la sostenibilidad (Moreno Avila, s.f.). Dentro de estas tecnologías, los exoesqueletos industriales, diseñados para reducir la carga física de los trabajadores y prevenir lesiones musculoesqueléticas, representan una solución prometedora para mejorar el bienestar de los empleados y la eficiencia operativa según el mismo autor. Por lo tanto, esta investigación se encamina a analizar el impacto de los exoesqueletos en la industria alemana durante el periodo 2019-2024, con el fin de evaluar sus beneficios, desafíos y posibilidades de adopción.

Los trastornos musculoesqueléticos son una de las principales causas de ausentismo y altos costos operativos en la industria global, afectando negativamente tanto a la salud de los trabajadores como a la productividad de las empresas.

Los trastornos musculoesqueléticos, se les denomina TME a las afecciones o patologías que se presentan en el sistema muscular y esquelético humano, y se desarrollan principalmente en la zona cervical, lumbar y extremidades superiores del cuerpo. (Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA). (Dakota del Norte).

Estas se derivan del agotamiento de los músculos en la realización de actividades prolongadas y repetitivas en las cuales se producen estados de contracción-relajación que, sumado a un gran consumo de energía y movimientos mal ejecutados, desencadenan un desgaste corporal en el trabajador.

En Colombia, según la Encuesta Nacional de Condiciones de Salud y Seguridad en el Trabajo (Fasecolda, 2020), más del 40% de los trabajadores reportan sufrir alguna dolencia relacionada con sobrecarga física, lo que genera importantes pérdidas económicas, de igual

manera, en España, los trastornos musculoesqueléticos se sitúan entre las enfermedades laborales más reportadas, especialmente en sectores que involucran actividades manuales intensas, en ese sentido los exoesqueletos ofrecen una oportunidad para reducir estas lesiones, mejorando la calidad de vida de los trabajadores y su productividad (Gil & Colorado, 2021) (DGUV, 2021).

Además de prevenir lesiones, los exoesqueletos pueden aumentar la eficiencia operativa al reducir la fatiga física y mejorar el rendimiento en tareas repetitivas o físicamente exigentes (De Looze, 2016). En este contexto de la Industria 4.0, donde la interacción entre humanos y máquinas es cada vez más relevante, estas tecnologías permiten optimizar la ergonomía y la seguridad en los entornos industriales, tal cual y como lo propone (Moniz & Krings, 2016).

Para terminar, la presente investigación proporcionará información sobre las barreras que enfrentan las empresas para la adopción de exoesqueletos, tales como los costos de adquisición y la aceptación por parte de los trabajadores, en concordancia, ofrecerá recomendaciones para superar estos obstáculos y maximizar el potencial de esta tecnología, no solo en Alemania, sino también en países como Colombia, donde su implementación podría mitigar de manera significativa los problemas derivados de los trastornos musculoesqueléticos (Wandke et al., 2019).

Así mismo la ley define enfermedad laboral así: Es la contraída como resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral o del medio en el que el trabajador se ha visto obligado a trabajar. El Gobierno Nacional, determinará en forma periódica las enfermedades que se consideran como laborales.

Decreto Ley 1295 de 1994. Esta ley busca establecer las actividades de promoción y prevención tendientes a mejorar las condiciones de trabajo y salud de los trabajadores. Fija las prestaciones de atención en salud y las prestaciones económicas de los accidentes de trabajo y

enfermedad profesional, vigila el cumplimiento de cada una de las normas de la legislación en salud en el trabajo y el esquema de administración de Salud en el trabajo a través de las ARP.

El Decreto 1295 en su Artículo 21 Literal D. Obliga a los empleadores a programar, ejecutar y controlar el cumplimiento del programa de Salud en el trabajo en la empresa y su financiación. En el Artículo 22 Literal D, obliga a los trabajadores a cumplir las normas, reglamentos e instrucciones del programa de salud en el trabajo de las empresas ya que sin esta obligación las empresas se quitarían la obligación de tener a los trabajadores. “(Rodríguez Bonilla & Díaz Blanco, 2020, p. 46- 47).

Con lo mencionado y recopilado hasta el momento, creemos que es pertinente cerrar el análisis de la justificación de nuestro proyecto, y fuentes estudiadas durante la recopilación de fuentes bibliográficas, consideramos justificada la razón del presente trabajo de grado.

### **Marco Teórico**

Para sustentar esta investigación, el núcleo central estará enfocado en las teorías respecto a la ergonomía, los estudios sobre la implementación y los impactos sobre como la tecnología de estas herramientas generan facilidades para los trabajadores en el desarrollo de sus funciones. Los exoesqueletos industriales tienen en la mejoría de las condiciones en los entornos laborales, al respecto, algunos estudios, investigaciones y autores han perfilado estos sistemas, como una solución viable frente a la mitigación de los riesgos laborales, especialmente los denominados “desórdenes musculoesqueléticos” (DME).

Dentro de los estudios recientes observados se demuestra que la implementación de los “exoesqueletos” ha traído como tecnología, el potencial de mejorar tanto en los aspectos de la

productividad, como en los aspectos del bienestar del trabajador, y ha influido en la reducción del riesgo ocupacional, es decir, reduce las lesiones. Así pues, la tecnología en el campo ergonómico específicamente la implementación de los exoesqueletos, no solo impacta en los aspectos físicos del trabajo, sino también en el entorno psicosocial del trabajador, aunque este último elemento, no será foco del presente estudio (Pons, 2020).

Ahora frente a la reducción de desórdenes musculoesqueléticos (DME) son uno de los desafíos más críticos, los esfuerzos repetitivos, las posturas forzadas o el manejo de pesadas cargas en entornos laborales, son algunos de los principales factores causantes de estos desórdenes (Vega Casado, 2024), dentro de las estadísticas Europeas, los DME significan un 60% de las enfermedades u afectaciones ocupacionales, este estudio subraya que la importancia de medidas preventivas son esenciales para contrarrestar éstas afecciones físicas (Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, 2023), respecto a la implementación de los exoesqueletos como tecnología preventiva, se ha demostrado que tiene como potencia ser una efectiva solución al respecto de la mitigación de éstos tipos de desórdenes. Por otro lado, Lobaina Delgado et al. (2024) revela qué, en la industria automotriz alemana, el uso de estos dispositivos redujo la fatiga muscular y mejoró la eficacia en el desempeño de los trabajadores en las tareas repetitivas, resultando según este estudio, en una menor incidencia de DME y una significativa mejora en aspectos como la salud física de los trabajadores.

En este orden de ideas, los desafíos previos también se relacionan con otro tipo de desafío, y éste es frente a la implementación lo que se relaciona a su vez con los tipos de diseños que se centren en el usuario, pues a pesar de los beneficios, que la implementación de los

exoesqueletos ha traído en los últimos años en la industria alemana, ésta se sigue enfrentando a desafíos, en términos especialmente del impacto de parte de los trabajadores, que no son más que usuarios, a los que se dirigen éstas, al respecto, Lobaina Delgado et al. (2024) documenta en su trabajo, que el éxito de los dispositivos en cuestión, depende principalmente de un diseño centrado y pensado en el usuario, que sea ajustable a las necesidades físicas individuales de los trabajadores, por lo anterior y en relación con lo descrito.

Pons (2020) enfatiza y en respaldo al diseño individual que menciona el estudio anterior, que estos dispositivos no pueden ser estandarizados, debido precisamente a que éstos al personalizarse, serán más eficaces al evitar la incomodidad u a las fatigas adicionales.

Ahora bien, todo lo descrito hasta aquí, no tiene relevancia en la práctica sin un marco regulador u normativas, pues la introducción de los exoesqueletos como tecnología pensada para el lugar de trabajo, requiere claramente un marco regulatorio adecuado para garantizar la seguridad de los trabajadores, respecto a esto, la normativa Alemana y Europea ha establecido directrices claras para la adopción de éste tipo dispositivos ergonómicos de asistencia, exigiendo con éstas estrictos requisitos de seguridad a cumplir (Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, 2023). En este campo, Franco Arciniegas y Hernández Yepes (2020) señalan que una falta de regulación, puede derivar en un aumento en los riesgos laborales, por ello, explica, como las normativas vigentes están y han venido buscando asegurar que los exoesqueletos sean seguros, efectivos para su uso en entornos industriales, y claramente tipificados para los tipos distintos de industria a los que se dirijan.

En lo referente a los casos de éxito en los sectores industriales de interés, la aplicación de los exoesqueletos en sectores como la construcción o en el sector de la logística, ha mostrado resultados realmente notables, de hecho, Lobaina Delgado et al. (2024) menciona en sus estudios, que estos dispositivos han sido bien acogidos en el sector de la construcción, sector donde el levantamiento de elementos y materiales pesados hace parte de las principales causas de lesiones dentro de esta industria. Así pues, y en ese sentido, la implementación de estos dispositivos se ha reflejado en la reducción significativa en los índices de lesiones, y refleja que se ha mejorado a partir de implementar estas tecnologías en la productividad de las empresas, en otros estudios relacionados, se encuentra lo que Poo Sobrino (2023) documentó en la industria pesquera cubana, demostrando. que el uso preventivo de tecnologías de este tipo, (incluyendo dispositivos como los exoesqueletos), redujo los accidentes, y subraya respecto a la efectividad de éstos en diversos ámbitos industriales.

Las innovaciones tecnológicas y el futuro de los exoesqueletos industriales se proyecta como una importante solución integral en temas de la salud ocupacional, cuando éstas integran tecnologías como la realidad virtual tal cual lo expone y explica (Cisnal et al., 2024), las diversas combinaciones de tecnologías permiten no solo mejorar la salud física en y de los empleados, sino que también impactan en aspectos como la motivación y por ende el bienestar de éstos, el sector de la rehabilitación, los exoesqueletos ya han sabido demostrar su eficacia, y el diverso potencial de su uso, le avizora una expansión hacia otros ámbitos industriales lo cual es prometedor (Lobaina Delgado et al., 2024). No obstante, frente a su adopción, dependerá de la correcta integración, esto desde lo cultural y social, en línea de lo señalado por Pearman (2023), quien explora analíticamente en su trabajo, cómo se pueden transformar desde las tecnologías, la

percepción específica de un trabajo manual y como ayudan a revalorizar el uso de las habilidades físicas tradicionales con respecto a las competencias que las tecnológicas han generado en este aspecto de trabajo manual o de la mano factura.

La Biomecánica es una disciplina, ubicada entre las ciencias derivadas de las ciencias naturales, que se ocupa del análisis físico de sistemas biológicos, consecuentemente, de los análisis físicos de los movimientos del cuerpo humano. Estos movimientos son estudiados a través de leyes y patrones mecánicos en función de las características específicas del sistema biológico humano, incluidos los conocimientos anatómicos y fisiológicos (2). En el sentido más general de su aplicación, el objetivo de la biomecánica en las actividades deportivas se concentra en la caracterización y optimización de las técnicas de movimiento a través de los conocimientos científicos presentes en la ciencia, que tienen como objeto de estudio el gesto deportivo (...) (3). En este caso, es pertinente tener presente la biomecánica teniendo en cuenta que los exoesqueletos son aquellos sistemas diseñados en pro del ser humano y sus estructuras biológicas para el desarrollo de una función específica, en este caso las funciones encomendadas por parte de su empleador.

### **Estado de Arte**

En las últimas décadas, y especialmente desde comienzos del siglo XXI, las necesidades de la industria, sumadas a los factores de competitividad, reducción de costos, rapidez y precisión en la producción, han propiciado el desarrollo de tecnologías que optimizan los procesos productivos, eliminan errores humanos y mejoran los sistemas de prevención de riesgos laborales. Una de las innovaciones más relevantes en este campo que ha mejorado mucho las

afectaciones ergonómicas por malas posturas, ha sido la introducción de los exoesqueletos industriales, éstos han permitido reducir el riesgo relacionados con lesiones ocupacionales y han probado aumentar la productividad laboral y el desempeño de los trabajadores.

La tecnología de los exoesqueletos, que inicialmente surgió con fines militares y médicos, ha sido adaptada para entornos industriales, donde los trabajadores suelen enfrentarse a tareas repetitivas que pueden afectar su salud física. Esta investigación revisa estudios recientes sobre el desarrollo e implementación de exoesqueletos industriales, analizando su impacto en la salud ocupacional, la aceptación por parte de los trabajadores y los desafíos de su diseño.

Los entornos de uso de los exoesqueletos laborales han demostrado ser eficaz para reducir lesiones musculoesqueléticas. Según la European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA, 2023), los exoesqueletos pueden disminuir la fatiga y la carga física en los trabajadores, aunque advierte que su uso prolongado sin una adecuada evaluación ergonómica puede generar nuevos riesgos. Es fundamental entender que los dispositivos deben estar diseñados específicamente para cada tipo de tarea y que los empleados reciban la capacitación adecuada para maximizar los beneficios de esta tecnología.

En el Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation (2023) han subrayado que los exoesqueletos han venido mejorando considerablemente la productividad en la industria manufacturera, han demostrado que estos dispositivos en cuestión, han reducido las bajas laborales, por enfermedades que se relacionan con lesiones de espalda. Sin embargo, también advierte respecto o sobre la importancia de adaptar los exoesqueletos a las

características físicas de cada trabajador para evitar sobrecargas en otras partes del cuerpo. En esta línea de investigación, Toxiri et al. (2019) destaca la efectividad de los exoesqueletos de soporte lumbar en la prevención de lesiones por esfuerzo repetitivo, aunque subrayan la necesidad de más investigaciones a largo plazo sobre sus posibles efectos adversos.

Por otro lado, se tiene a Torres-Medina y Rodríguez (2023) quienes han propuesto siete principios para la implementación de exoesqueletos industriales desde la ergonomía, destacando la necesidad de acompañar cualquier intervención con profesionales competentes en esta disciplina. Dentro de estos principios, se enfocan en asegurar que los exoesqueletos cumplan su promesa de prevenir desórdenes musculoesqueléticos sin generar efectos negativos.

Del punto de vista clave para esta investigación, se advierte que la aceptación de los exoesqueletos de lado o por parte de los trabajadores, se determina crucial para el éxito de su implementación. Así, y ésta misma línea de estudio, Jacobs et al. (2019), analiza y destaca factores como la comodidad y la percepción de seguridad, como elementos determinantes para la adopción de esta tecnología. También documenta que para muchos de estos empleados que experimentaron mejoras en su bienestar físico y percibieron una reducción en el riesgo de lesiones futuras mostraron mayor disposición a utilizar los exoesqueletos a largo plazo.

Los estudios previamente versados líneas atrás, se pueden ver soportados por el informe de Ottobock (2023) que habla sobre el exoesqueleto Paexo, que resalta en la importancia de que estos dispositivos sean ligeros, fáciles de integrar en el flujo de trabajo diario, y en últimas más pensados para el usuario.

Zhou et al. (2017) propuso en su publicación, que un enfoque más optimizado, y basado en simulaciones biomecánicas, es lo que permite ajustar los exoesqueletos, a las verdaderas necesidades individuales de los trabajadores, mejorando tanto la comodidad como la eficiencia del dispositivo. Por otro lado, aunque en estas mismas líneas de trabajo, Masood et al. (2019) señalaron que, aunque los exoesqueletos han mejorado en términos de diseño y funcionalidad, persisten barreras relacionadas con su versatilidad y adaptación a diferentes entornos industriales.

Sobre la falta de estándares globales para la evaluación y uso de exoesqueletos, lo que dificulta su adopción generalizada destaca Orthexo (2023) que desarrollar marcos regulatorios adecuados es esencial para garantizar su efectividad en diversos sectores.

De estos estándares regulatorios mencionados, se llega a algunos de los autores que proponen el diseño de exoesqueletos para uso industrial en Colombia como lo son las propuestas de Bonilla Ramos y Díaz Rueda (2021) resaltando éstos que, aunque las automatizaciones completas pueden ser costosas, los exoesqueletos ofrecen una alternativa asequible para prevenir trastornos musculoesqueléticos en trabajadores que realizan tareas manuales. Además, y desde la perspectiva del riesgo laboral, Esteves Lorenzo (2022) exploró los beneficios de los exoesqueletos en el ámbito laboral y sanitario, destacó el potencial para reducir la exposición a riesgos laborales y mejorar la seguridad en las organizaciones.

Para finalizar, el uso de exoesqueletos en entornos industriales ha demostrado ser beneficioso en la reducción de la carga física y la mejora de la ergonomía, lo que contribuye a una menor incidencia de lesiones laborales. No obstante, los autores aquí expuestos demuestran que el potencial del éxito depende de diversidad de factores, algunos de ellos como lo son el

diseño centrado y pensado en el usuario, la adaptación a las tareas específicas y con un previo y detallado trabajo en los dos aspectos anteriores, decantaremos en la aceptación por parte de los trabajadores. Los estudios que se han revisado hasta la fecha en este trabajo nos han mostrado que subrayan la necesidad de seguir investigando los efectos a largo plazo y de desarrollar estándares regulatorios que faciliten la adopción de esta tecnología en diversos sectores.

Sin embargo, aunque los exoesqueletos tienen un gran potencial para mejorar la seguridad y de otro lado la productividad en el lugar de trabajo, la implementación exitosa requiere unos enfoques integrales que consideren tanto los aspectos técnicos como los factores humanos.

### **Metodología de investigación**

El presente trabajo, se apoyará en la metodología de rastreo documental y un enfoque aplicado el cual según Valencia (2015) permite identificar las investigaciones realizadas previamente, categorizarlas, precisar en qué aspectos existe una carencia de información, por ende, desde el proyecto se pretende ofrecer resultados cualitativos con enfoque mixto, estos tipos de resultados serán filtrados y extraídos a partir de la búsqueda de fuentes bibliográficas documentales, de diversa índole, tales como, artículos científicos de revistas, trabajos de grado, libros y publicaciones académicas, con un alcance descriptivo el cual según Ramos (2020), este tipo de investigación se tiene claridad sobre las características del fenómeno en estudio pero se tiene como objetivo la descripción de determinados asuntos concretos en una población específica. En este caso en la población Latinoamericana que trabaja en el sector operativo e industrial.

### **Diseño**

No será experimental, teniendo en cuenta que no se realizará una intervención directa. El estudio se basa en alisar documentos existentes, artículos científicos, informes técnicos y estudios previos de los exoesqueletos en el entorno laboral. Este análisis permitirá tener una visión más amplia sobre lo eficiente que es la tecnología en la prevención de trastornos musculoesqueléticos.

### **Enfoque**

Se realizará un análisis de calidad y cantidad. En el análisis cualitativo se buscarán tendencias y conclusiones en los estudios revisados, mientras que el análisis cuantitativo se centrará en la información estadística relacionada con la eficacia y frecuencia de uso de los exoesqueletos para prevenir trastornos musculoesqueléticos.

### **Alcance**

El estudio será exploratorio y descriptivo. El objetivo es observar detalladamente los estudios sobre el uso de exoesqueletos para identificar sus ventajas en el entorno de SST y poder mostrar su implementación y efectividad en la disminución de los trastornos musculoesqueléticos.

### **Instrumentos**

Se emplearán plantillas de análisis de contenido para extraer y seleccionar la información más importante y clave de cada artículo, organizando dicha información por efectividad, ventajas etc.

### **Validez y confiabilidad**

La validez de esta investigación se garantiza por las selecciones de fuentes de alta calidad, asegurando que esta información provenga de una investigación estructura, para de esta manera garantizar la confiabilidad.

### **Aspectos Éticos**

Los principios éticos de esta investigación documental, garantiza la citación adecuada de as fuentes de consulta y respetando derechos de autor.

### **El Idioma**

Los documentos que se incluirán están escritos en español e inglés, dado que son los idiomas más relevantes en este tipo de literatura académica, ésta referente o respecto al tema de la ergonomía y los exoesqueletos.

### **Tipo de investigación**

La investigación será de tipo aplicada, Teniendo en cuenta que se quiere lograr un conocimiento practico para abarcar el problema de los trastornos musculoesqueléticos mediante el uso de los exoesqueletos. La investigación enfocara en revisión documental de estudios ya realizados y literatura con relación a la tecnología de los exoesqueletos y su impacto.

### **El Periodo de tiempo**

El rango de tiempo establecido está entre los años 2019 y 2024, ya que es un periodo más reciente y de cierta manera, un periodo con información más fresca para nuestros intereses investigativos, tales como las tecnologías desarrolladas de exoesqueletos en la industria y sus aplicaciones a la ergonomía, la salud ocupacional y la productividad.

### **Normas de revisión**

Revisar la documentación o los documentos utilizando formato APA descrito y exigido para la extracción de referencias y citas, se pretende lograr que cada fuente cumpla con las normas académicas de calidad. En cuanto a la calidad de los documentos, el realizar la evaluación, como éstos pertenecen a publicaciones registradas o si han sido publicados por universidades de prestigio o con reconocimiento nacional o internacional.

### **Los Criterios de inclusión**

Dentro de los criterios fundamentales para este trabajo estarán los *documentos publicados entre los años 2019 y 2024*, las *Publicaciones* que aborden los temas sobre o respecto a los exoesqueletos industriales, la ergonomía, o la reducción de lesiones y/o el aumento de la productividad.

Se tendrá en cuenta los *Artículos* que cuyos estudios mencionen sobre casos o investigaciones empíricas dentro del ámbito industrial aplicadas.

### **Criterios de exclusión**

En primer lugar, excluirémos las **publicaciones anteriores al año 2019** con excepción de los estudios fundamentales frente al tema de interés en cuestión en este proyecto. La documentación que no cuente con base científica sólida o que estas no estén relacionadas directamente con temas de interés aquí como la ergonomía o los exoesqueletos.

La literatura que simplemente o solo aborde a los exoesqueletos desde la perspectiva médica, es decir sin referencia al uso industrial.

### **Criterios de extracción de datos**

El criterio de citas textuales, que durante el desarrollo de este proyecto se extraerán frases claves que describen o relacionan resultados específicos frente al uso de los exoesqueletos, frente a la relación de la ergonomía y la reducción de lesiones por o debido al uso de estas tecnologías.

El criterio de las citas no textuales, entendidas éstas como parafraseo con el fin de reseñar resumidamente en apoyo a los hallazgos, durante el desarrollo de conclusiones importantes que respalden al tema eje de nuestra investigación.

#### **- Localización de documentos**

1. Fuentes de búsqueda:

**Google Scholar, Google Académico, IEEE Xplore; ScienceDirect, PubMed.**

2. Proceso de búsqueda:

palabras claves como:

*"exoesqueletos industriales", "ergonomía", "reducción de lesiones", "Industria 4.0", "tecnología de asistencia"*, entre otros muchos más, pasó siguiente. *filtrar los resultados por años*

de publicación que en nuestro caso atiende a los años *entre (2019-2024)*, y, por último, el paso de *seleccionar artículos científicos, tesis, informes técnicos y documentos revisados por pares*.

### **Presupuesto**

Este trabajo de grado se llevará a cabo como una revisión bibliográfica, lo que implica que no se requiere un presupuesto financiero. Las actividades por realizar se centrarán en la búsqueda y análisis de literatura académica existente, utilizando recursos disponibles en bibliotecas y bases de datos en línea.

Los costos asociados a este tipo de investigación son mínimos, dado que se utilizarán materiales y herramientas accesibles sin gastos adicionales. El tiempo invertido en la revisión de fuentes, la redacción del trabajo y la organización de la información será la principal inversión en este proyecto. Se prevé que el trabajo se realice en un periodo de 4 meses, lo que permitirá una revisión exhaustiva de la literatura relevante.

### **Cronograma**

Fase del proyecto	Fecha inicio	Fecha finalización	Duración semanas
Revisión de la literatura	09 septiembre 2024	24 septiembre 2024	03 semanas
Recolección de datos	09 septiembre 2024	24 septiembre 2024	03 semanas

Análisis de datos	24 septiembre 2024	08 octubre 2024	02 semanas
Redacción primer borrador	24 septiembre 2024	08 octubre 2024	02 semanas
Revisión y ajustes	08 octubre 2024	21 noviembre 2024	07 semanas
Presentación final y sustentación	22 noviembre 2024	03 diciembre 2024	01 semana y 1/2

### **Divulgación**

Publicación en Repositorio Académico de la Institución Politécnico Gran Colombiano. Adicionalmente, se realizará una socialización a través de jornadas de presentación ante pares académicos de la institución, esto con la finalidad de generar la divulgación en la escuela de psicología, talento humano y sociedad.

### **Resultados**

Con la finalidad de revisar el uso y desarrollo de exoesqueletos en la industria mundial, se hace necesario proporcionar fuentes académicas para la contextualización del estudio. Por ello, inicialmente es pertinente mencionar que la literatura encontrada sobre los estudios realizados sobre exoesqueletos es en general en español. Sin embargo, también en la literatura en inglés se evidencia que empezaron a surgir como fuentes académicas gran cantidad de textos con un foco en la salud del trabajo con relación al uso de la tecnología en el ejercicio de sus funciones.

En el siguiente cuadro se observará de manera gráfica las bases académicas utilizadas, y el porcentaje de textos que se lograron extraer.

1. Según la investigación bibliográfica llevada a cabo, se ha observado un aumento notable en el interés por emplear exoesqueletos en ámbitos laborales que requieren labores físicas fuertes, en áreas como manufactura, atención médica y la construcción. En los análisis realizados se resalta en que los exoesqueletos han mostrado efectividad en la disminución de la carga física en los trabajadores al brindar soporte en las extremidades superiores e inferiores.

No obstante, la adopción de esta tecnología todavía está restringida, la causa es por los costos altos, la complejidad de su integración en las empresas.

2. Explorar los aspectos positivos y negativos de los exoesqueletos en la prevención de trastornos musculoesqueléticos,

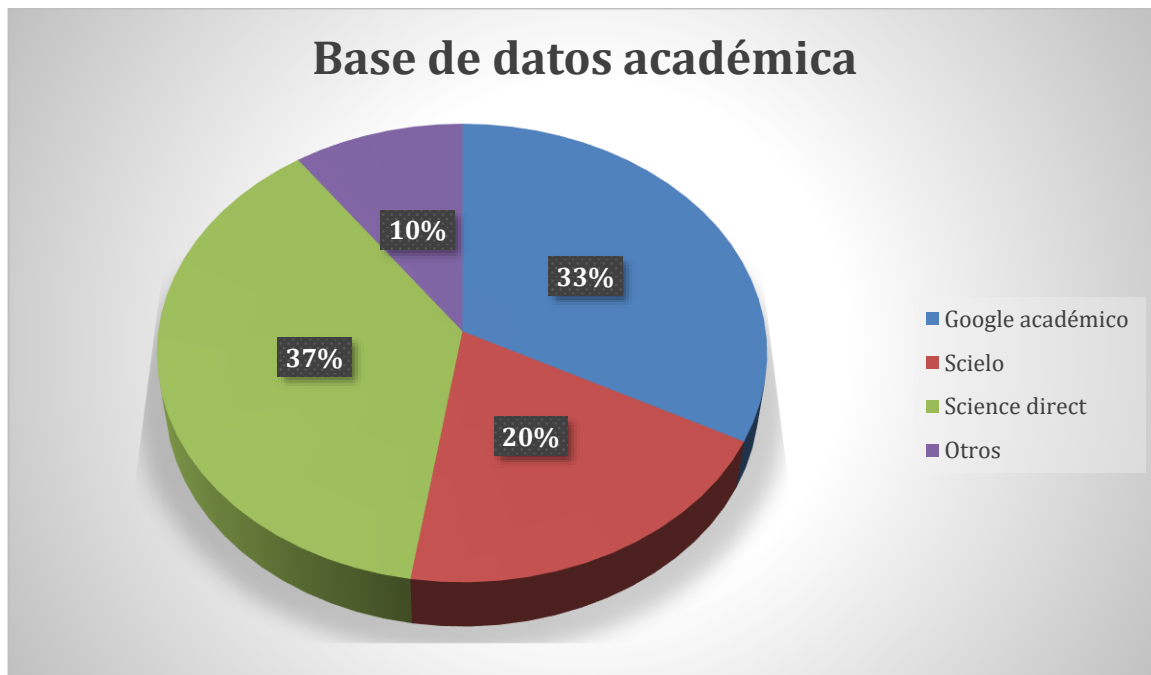
Los beneficios que se mencionan con mayor frecuencia de lesiones musculares y óseas particularmente en empleados que realizan movimientos repetitivos y adoptan posturas inadecuadas.

Otro beneficio es que mejora el rendimiento laboral gracias a que los trabajadores sienten menos cansancio y pueden llevar a cabo tareas físicas demandantes con mayor comodidad.

Soporte ergonómico que ayuda a los empleados a mantener una postura adecuada y disminuir la presión en áreas de miembros superiores e inferiores.

No obstante, es importante mencionar algunas restricciones significativas;

3. Tabla 2. Representación de bases de datos consultadas.



Según lo visto en la gráfica, la base de datos con mayor número de publicaciones respecto de los exoesqueletos es Science Direct con un 37%, siguiendo Google académico con un 33%, en tercer lugar, Scielo con 20% y solamente con un 10% diversas bases de datos con textos referentes al tema sujeto de la presente investigación.

Incluso, se generan propuestas investigativas como en el texto *Human-Centered Design Optimization Approach for Robotic Exoskeletons* (2017) buscando encontrar el enfoque por medio del cual se mejoren de manera significativa el uso y eficacia de los exoesqueletos, en este caso concreto indican que es el enfoque biomecánico, adicionando el resultado del texto *Introduction to the Human Factors Special Issue on User-Centered Design for Exoskeleton* (2020) en donde se menciona que también es necesario que el diseño esté centrado en el usuario, quien es el encargado de utilizar dicho sistema. Por otro lado, en el texto *Uso de la resina poliéster en el diseño de un exoesqueleto pasivo de extremidad inferior* (2020), consideran que

se debe tomar en cuenta un material concreto para continuar avanzando en el desarrollo de dicha tecnología, y concretando es la resina poliéster.

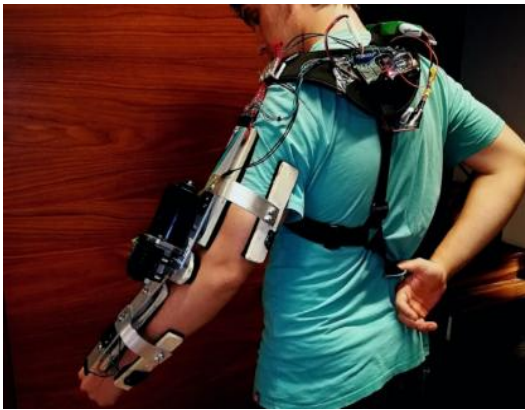
Por último, pese a que en más de 5 textos se generen alertas sobre las posibles consecuencias negativas y/o problemáticas de los exoesqueletos, el desarrollo con evidencias basadas en estudios de caso es muy limitado, ocasionando entonces un vacío investigativo de carácter interdisciplinario, perjudicando en el tiempo a los trabajadores y/o empresas por solamente analizar, revisar y estudiar los avances a corto plazo sin tener en cuenta las repercusiones a largo plazo o incluso los beneficios sociales y económicos de dicha medida.

Inicialmente, en el texto de *Exoworkathlon: A prospective study approach for the evaluation of industrial exoskeletons (2022)*, mencionan que se realizaron diversas observaciones en fábricas alemanas de prefabricación de madera, revelando que los trabajadores estaban a riesgos de seguridad como lo eran el peso de los materiales, realización repetitiva de actividades, trabajo en alturas e incluso, riesgos latentes por encima de la cabeza, afectando la parte física de la persona pero también psicológica y emocional. Incluso indican lo siguiente: *Otros estudios informaron que el trabajo frecuente y repetido por encima de la cabeza en la industria de la construcción conduce a dolor de hombro en hasta el 30% de los trabajadores y a consecuentes pérdidas financieras.* (Umer et al., 2018; EU-OSHA European Agency for Safety and Health at Work et al., 2020), poniendo el sector de la construcción a la par con el sector de la manufactura, en aquellos en los cuales se hace necesario y relevante tomar los exoesqueletos como una herramienta de prevención y promoción de salud. Por consiguiente, en aras de brindar respuesta al segundo objetivo, es necesario profundizar en la percepción del trabajador sobre la comodidad y efectividad de este tipo de sistemas (exoesqueletos) en el desarrollo de su labor.

Por lo anterior, se hace necesario tomar en cuenta los tipos de exoesqueletos utilizados actualmente y sus respectivas funcionalidades dependiendo de la morfología de la persona según el texto Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación de 2010:

1.

Figura 1. Exoesqueletos para extremidades superiores



superiores

A. Mano: Ju Wang, Jiting Li, Yuru Zhang y Shuang Wang presentaron un exoesqueleto para generar un movimiento bidireccional (flexión-extensión). Mientras que en otros estudios se han logrado crear

exoesqueletos para trabajar en medio de realidad virtual.

B. Brazo: En Colombia se generó el programa EXOCAP en el cual se elaboró un hardware y software planteando una red neuronal como modelo del músculo.

2.

Figura 2. Exoesqueletos para extremidades inferiores

A. Para fuerza y habilidad: Homayoon Kazerooni generó el avance más significativo en este campo, en donde logró aumentar la fuerza de los pilotos para el desarrollo de sus funciones al utilizar herramienta pesada.

B. Exoesqueletos para rehabilitación: Especialmente, como

su nombre lo indica, tienen una finalidad concreta siendo el apoyo de aquellas



personas que han sufrido de un accidente, o quienes cuentan con secuencias después de determinada situación de salud.

Cabe añadir que Torres Medina y Rodríguez (2023) proponen siete principios para la implementación de exoesqueletos industriales en contextos de trabajo con la finalidad de tener una relación directa entre la necesidad de la empresa, del trabajador y posteriormente la realidad de dicho funcionamiento.

La tabla 1. La necesidad de la empresa y del trabajador.

<b>Principio</b>	<b>Definición</b>
Definición y caracterización de la tarea.	Las empresas requieren identificar inicialmente cuales son las tareas que requieren ser asistidas con el uso de exoesqueletos industriales.
Seguridad y condiciones de utilización	Es necesario examinar internamente los potenciales riesgos que contribuirían con ocasión al trabajo y que en sí mismo pueden ser un riesgo en el entorno a laborar.
Confort y facilidad de uso.	La facilidad y rapidez para que el trabajador pueda hacer uso del sistema, y de que se adapte a sus características antropométricas

	<p>hace necesario caracterizar la población que utilizaría dicho sistema.</p>
<p>Utilidad.</p>	<p>Durante la utilización de dicho sistema, se puede validar si se cumple con las necesidades inicialmente planteadas en la tarea.</p>
<p>Impacto en la ejecución de la tarea.</p>	<p>Pese a que estas tecnologías busquen contribuir con la resolución de una problemática, puede que se deban hacer modificaciones productivas en el paso a paso de la elaboración de un producto, material o conseguir determinada meta en el ámbito industrial, por ende, se hace necesario ir tomando en cuenta cada detalle proporcionado de manera paulatina a los procesos.</p>
<p>Aceptabilidad y aceptación.</p>	<p>Torres Medina y Rodríguez definen los conceptos de la siguiente manera “el concepto de aceptabilidad (calidad de aceptable) se refiere a las intenciones de los usuarios de utilizar o no la nueva tecnología, mientras que</p>

	<p>la aceptación (acción de aceptar) se refiere a su uso efectivo”, por consiguiente, se hace necesario tener en cuenta las opiniones de los trabajadores quienes son los que de primera mano tienen contacto con la tecnología, uso y contribución en los procesos industriales.</p>
<p>Costo y factibilidad económica.</p>	<p>El autor expresamente afirma que <i>“se debe identificar el monto de la inversión inicial y otros costos asociados: valor de compra y costos de envío, costos de mantenimiento, inversión en formación, seguros, etc.”</i>.</p>

Siendo sumamente necesario acudir a estos principios con la finalidad de que las empresas cuenten con un paso a paso para verificar si la utilización de exoesqueletos es aquel sistema necesario para cumplir sus respectivas necesidades.

Por otro lado, en el texto de Cortes Méndez y Mejía Navarro (2024), realizan otra tipificación de los exoesqueletos y la industria a la cual se aplicarán, los cuales son:

a.

Figura 3. Exoesqueletos

pasivos: *“Este tipo de sistemas se utilizan para el levantamiento de carga, trabajos*

*repetitivos y actividades que requieren soporte físico...estos proporcionan apoyo mecánico sin requerir energía externa” (pág. 16).*



b.

Figura 4

Exoesqueletos activos: “Se utilizan para actividades que requieran asistencia dinámica y ajuste activo en tiempo real operativo” (pág. 17). Teniendo como ejemplo que para la

industria

tiene el potencial

resistencia.



manufacturera y militar

de mejorar la fuerza y

c. Exoesqueletos cuasi pasivos: “Las características de un sistema de actuación basado en resorte son modificadas por un actuador activo” (pág. 17).

3. Teniendo esta diferenciación clave encontrada en el texto de *Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación* de Manuel Alejandro Chávez Cardona, Felipe Rodríguez Spitia, Asfur Baradica López en el año 2010, es necesario revisar además la carencia de evidencia y estudio de los beneficios a largo de

plazo de estos sistemas, puesto que si bien pueden estar o no adaptados al cuerpo humano o solamente proporcionar una ampliación de las habilidades propias de sí mismo.

Por este motivo, Torres Medina y Rodríguez, indican en su texto Exoesqueletos industriales: siete principios para su implementación desde la perspectiva de la ergonomía (2022), que es necesario revisar el impacto de la utilización de exoesqueletos industriales en contexto de trabajo a largo plazo, debido a que:

*“En una reciente revisión sistemática y metaanálisis, llevada a cabo por investigadores alemanes, se concluyó que el empleo de los exoesqueletos en tareas ocupacionales parece reducir la carga de trabajo físico y sus posibles efectos (ej. reducción de la actividad muscular, de los momentos articulares y del esfuerzo percibido) en las zonas corporales (ej. miembros superiores, espalda, miembros inferiores) de la persona/usuario a los cuales va dirigido el empleo del exoesqueleto. Sin embargo, aún se desconoce el impacto real del uso de los exoesqueletos en la salud de los trabajadores, debido principalmente a la falta de estudios en condiciones de trabajo reales que evalúen a largo plazo su empleo”.*

Adicionalmente, es necesario realizar la pregunta sobre *¿qué impacto pueden tener los exoesqueletos en el cuerpo del ser humano?*, para ello la entidad Mutua Universal brinda un texto en el cual indica que efectiva el exoesqueleto al ser un dispositivo colocado sobre el cuerpo del trabajador, puede tener consecuencias internas desde el cuerpo, pero también en el exterior, es decir, sobre su entorno.

Respecto del impacto en la persona, es pertinente reiterar que el dispositivo tiene determinado peso, con rígidas estructuras resortes y elementos mecánicos que forman parte del sistema de asistencia, por ende, pueden tener alguna reacción sobre las articulaciones de la persona que está utilizando el exoesqueleto, incluso se pueden incluso generar sobrecargas al sistema musculoesquelético de los usuarios. Otra consecuencia puede ser que, por un mal ajuste del dispositivo, se generen alteraciones en la flexibilidad y transpiración de los tejidos, provocando roces en la piel, sudor e incomodidad (Mutua Universal, 2020, pág. 21).

En otro aspecto, el exoesqueleto también puede tener repercusiones en el entorno del trabajador, debido a que puede tener interferencias físicas, choques o roces con las instalaciones al invadir el espacio de otras personas, daño del producto o afectación en la calidad, e incluso modificación en los tiempos de realización de la tarea concreta. Además, se deben de prever los medios, recursos, mantenimiento y gestión de su utilización, lo que puede generar sobrecargos económicos y personales para las empresas que requieran la utilización de estos sistemas (Mutua Universal, 2020, pág. 22).

Teniendo en cuenta lo anterior, es pertinente indicar el impacto psicosocial y de la productividad de los exoesqueletos, los cuales no solo se limitan a la solución, mejora o reducción en aspectos como la salud física, en estudios como los realizados por Franco Arciniegas y Hernández Yepes (2020) se subraya, que su uso mejora o influye, en la percepción de los trabajadores sobre las condiciones en sus entornos laborales, según éstos estudios el uso de éstas tecnologías, incrementa la motivación, reduce el agotamiento, y en últimas se advierte en los resultados de sus estudios, que estos, manifiestan marcados cambios en su actitud y aptitud en lo laboral, es decir, también ha contribuido al aumento en la satisfacción laboral, relacionado

al referido estudio, Muñoz & Rodríguez (2021) mencionan que al crear entornos más seguros en lo ergonómico. Y como Schmidt et al. (2023) expone en su trabajo, referente a que la participación de los trabajadores frente a la adopción u aceptación de estas tecnologías, serán cruciales si se pretende con ellas, asegurar su comodidad, y lo que a su vez promoverá una mayor eficiencia en el uso, que a estas se les dé.

### **Conclusiones**

- ✓ En la búsqueda de bibliografía durante la revisión documental realizada de las investigaciones en la industria alemana sobre los exoesqueletos, identificando su impacto y la creciente importancia de esta tecnología, como asistencia en los entornos laborales, e instrumentos de protección para el cuerpo del trabajador en sus actividades laborales.
- ✓ La implementación de exoesqueletos en la industria alemana y posteriormente a nivel mundial, es una solución realizada de forma interdisciplinar con la finalidad de prevenir desde el área de Seguridad y Salud en el Trabajo, el deterioro de la salud de los trabajadores, no solo en el ámbito físico sino también mental, esto mediante sistemas externos al cuerpo del ser humano en extremidades superiores, inferiores siendo activos o pasivos según lo observado en las clasificaciones realizadas por las investigaciones que anteceden al presente trabajo. Los beneficios de los exoesqueletos influyen de manera significativa en la reducción de las lesiones musculoesqueléticas y para la mejora de la productividad en los trabajadores al disminuir la fatiga y aumentar la actividad y productividad. Teniendo finalidad unos principios propuestos para la implementación de estas tecnologías en aras de brindar efectividad, confort y seguridad tanto a los trabajadores como a los procesos productivos, siendo de este modo una herramienta para

tener en cuenta por parte de las empresas como aliada estratégica.

- ✓ Finalmente, en cumplimiento se hacía necesario revisar las consecuencias de la utilización de estos sistemas en el entorno industrial. Por consiguiente, es evidente la falta de investigación de este tipo de herramientas en relación con el impacto en la salud de los trabajadores a largo plazo, adicionalmente su incidencia en el entorno laboral, teniendo la posibilidad de no ser aliados sino generar reprocesos en la calidad del trabajo y sobre costos operativos. Por ende, si bien se analizaron las ventajas de dicha tecnología en el entorno empresarial es necesario revisar en conjunto con los mismos trabajadores, la viabilidad y efectividad en el desarrollo de su labor y si en efecto es un apoyo para el trabajador o si por el contrario puede ser incluso una fuente de tener algún riesgo laboral.
- ✓ Sumado a todo lo mencionado previamente, es pertinente indicar que actualmente no se tienen los estudios suficientes a largo plazo para validar si pese a ser una tecnología compleja puede imitar a ciencia cierta los movimientos del cuerpo humano, por ende, no se tiene certeza de que no va a perjudicar desde el punto de vista biomecánico a los músculos y articulaciones de los usuarios. Además, se plantean retos, problemáticas y dificultades que tendrán que ir tratando los estudiosos en la materia en aras de tener una seguridad en la implementación de estos sistemas de mejora del ser humano en relación con el trabajo.

## **Recomendaciones**

- Inicialmente es necesario realizar un rastreo en las investigaciones de los exoesqueletos realizadas en Latinoamérica, debido a que se logra evidenciar que, al tener una gran diversidad de industria en nuestro territorio, es necesario continuar ejerciendo programas de prevención y promoción de sistemas que contribuyan con el mejoramiento de los procesos, pero principalmente de la salud de los trabajadores.
- Los trabajadores deben de tener comunicación directa con sus empleadores con la finalidad de expresar su sentir frente a las mejoras o retrocesos de dichos sistemas pueden generar en los procesos, debido a que son ellos directamente quienes están en continuo uso de las tecnologías, siendo incluso una fuente de estudio e investigación que se debería de tener en cuenta para futuros casos.
- Las empresas deben empezar a revisar dentro de sus finanzas este tipo de tecnologías como aliadas de una forma interdisciplinar, ya que, si bien son inversiones significativas en el ámbito económico, también pueden contribuir con el mejoramiento de los tiempos de producción, manejo de material y eliminación de errores en los micro procesos, apuntando de este modo a la tecnología como una aliada del ser humano.

## Referencias

1. Bonilla Ramos, J. A., & Díaz Rueda, N. (2021). Diseño de un exoesqueleto para uso industrial de miembros superiores a base de materiales reciclados. Pontificia Universidad Javeriana.  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/53053/Plantilla%20de%20Presentaci%C3%>
2. Ciscal, A., Sierra, D., Pérez-Turiel, J., & Fraile-Marinero, J. C. (2024). Integración de bio-realimentación visual de EMG en un exoesqueleto de rehabilitación de mano (RobHand) utilizando entornos de realidad virtual. XII Simposio CEA de Bioingeniería.  
[https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/17868/Actas\\_V2%20%281%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y#page=90](https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/17868/Actas_V2%20%281%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y#page=90)
3. Mendoza, D. (2023). Riesgo a la salud por ingesta de *Thasus Gigas* (Hemiptera: Coreidae) en Tezontepec de Aldama Hidalgo. ICSa-BD-UAEH.  
<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/4439/1/ATD99.pdf>
4. Davis, K. G., Marras, W. S., & Nussbaum, M. A. (2020). User-Centered Design Considerations for Occupational Exoskeletons. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 30(3), 162-170.  
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0018720820914312>
5. Davis, K.G., et al. (2020). Introduction to the Human Factors Special Issue on User-Centered Design for Exoskeleton. *Human Factors*, 62(3), 333-336.  
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0018720820914312>

6. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2023). The Impact of Using Exoskeletons on Occupational Safety and Health. Retrieved from EU-OSHA. <https://www.mdpi.com/2306-5354/10/9/1039>
7. EU-OSHA. (2021). The impact of using exoskeletons on occupational safety and health. European Agency for Safety and Health at Work. <https://osha.europa.eu/en/publications/impact-using-exoskeletons-occupational-safety-and-health>
8. Esteves Lorenzo, E. (2022). Los exoesqueletos y sus funcionalidades en la sociedad. Universitat Politècnica de Catalunya. [upcommons.upc.edu https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/367830/Mem%C3%B2ria\\_EstevesEdward.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/367830/Mem%C3%B2ria_EstevesEdward.pdf?sequence=1)
9. Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation. (2023). Occupational Exoskeletons. Retrieved from Fraunhofer IPA.
10. Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation. (2023). Exoskeletons for Industrial Applications. Fraunhofer IPA.
11. Franco Arciniegas, M., & Hernández Yepes, C. J. (2020). Proyecto de grado WorkSafe, Modalidad Emprendimiento. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
12. Jacobs, J.V., et al. (2019). Employee Acceptance of Wearable Technology in the Workplace. *Applied Ergonomics*, 78, 148-156.
13. Jacobs, J. V., & Huffman, S. D. (2019). Worker acceptance of wearable technology: Exploring confidence and perceived utility in exoskeletons. *Applied Ergonomics*, 79, 240-246.

14. Lobaina Delgado, A., Delisle-Rodriguez, D., Alonso-Valerdi, L. M., et al. (2024). Exoesqueletos en la rehabilitación neurológica: una revisión de los avances recientes. *Journal of Neuroscience Rehabilitation*.
15. Muñoz, J., & Rodríguez, M. (2021). Implementación de tecnología de exoesqueletos en la industria manufacturera: un estudio de caso en Alemania. *Ergonomics and Innovation Journal*, 17(2), 89-102.
16. Masood, J., et al. (2019). Industrial Wearable Exoskeletons and Exosuits Assessment Process. In: M. Carrozza, S. Micera, & J. Pons (Eds.), *Wearable Robotics: Challenges and Trends*. Springer.
17. Orthexo. (2023). Exoskeletons in Various Industries. Retrieved from Orthexo.
18. Ottobock. (2023). Paexo Exoskeleton. Ottobock Paexo. Retrieved from Paexo Ottobock.
19. Orthexo. (2023). Challenges in Implementing Exoskeletons: A Global Perspective.
20. Ottobock. (2023). Paexo Exoskeleton: A Solution for Industrial Ergonomics. Ottobock Industrial Division.
21. Pearman, P. B. (2023). La influencia de las teorías cosmológicas en la evolución social: paralelismos con la tecnología. *Cuaderno de Cultura Científica*. <https://www.laboratorium.eus>
22. Poo Sobrino, J. (2023). Adopción de nuevas tecnologías preventivas para reducir los accidentes laborales en el sector industrial. *Revista de Seguridad y Salud Ocupacional*, 9(1), 12-30.
23. Pons, J. L. (2020). Exoesqueletos robóticos: Perspectivas y aplicaciones. Springer. URL <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/7333/4359219/09103122.pdf>
24. Herrera, K. J., & Quisilema Pozo, K. N. (2022). Detección de mutaciones kdr mediante PCR convencional en tres codones del gen VGSC en *Aedes aegypti* recolectados en Guayaquil-Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana.

25. Schmidt, A., Müller, F., & Weber, K. (2023). Avances en la implementación de exoesqueletos industriales en Europa: Ergonomía, productividad y desafíos futuros. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 92, 103-120.
26. Serrano, L., & Ochoa, J. A. (2023). Análisis de los factores de aceptación de tecnologías asistidas en la industria manufacturera. *Technological Advances in Occupational Safety*, 8(4), 221-237.
27. Sierra, R. P. (2023). Evaluación del impacto de los exoesqueletos en la reducción de DME en el sector automotriz. *Ergonomics International Journal*, 15(3), 45-56
28. Toxiri, S., Näf, M.B., Lazzaroni, M., et al. (2019). Back-Support Exoskeletons for Occupational Use: An Overview of Technological Advances and Trends. *IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7(3-4), 237-249.
29. Toxiri, S., et al. (2019). Occupational Exoskeletons: Reducing Musculoskeletal Strain and Improving Productivity in Manual Handling Tasks. *Ergonomics*, 62(6), 869-889.
30. Torres-Medina, Y., & Rodríguez, Y. (2023). Exoesqueletos industriales: siete principios para su implementación desde la perspectiva de la ergonomía. *Revista UIS Ingenierías*, 22(2), 73-84.
31. Villalobos, J. (2022). La tecnología como herramienta para la inclusión laboral de personas con discapacidades físicas. *Revista Latinoamericana de Inclusión Laboral*, 11(2), 44-59
32. Zhou, L., Li, Y., & Bai, S. (2017). A Human-Centered Design Optimization Approach for Robotic Exoskeletons through Biomechanical Simulation. *Robotics and Autonomous Systems*, 91, 337-347.

33. Zhou, L., et al. (2017). Optimizing Human-Exoskeleton Interaction via Biomechanical Simulations. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(2), 207-217.
34. Robledo, F. (2013). Seguridad y salud en el trabajo: Conceptos básicos. Ecoe Ediciones. <https://www.ecoediciones.mx/wp-content/uploads/2015/08/Seguridad-y-salud-en-el-trabajo-.pdf>
38. Saa Zamorano, D. J. (s.f.). Análisis de la industria 4.0 en Latinoamérica y países desarrollados. <https://repository.ucc.edu.co/bitstreams/f9674f99-ccfa-48f6-94a3-394d4244fb6a/download>
39. Moreno Avila, D. V. (s.f.). Innovaciones tecnológicas en la seguridad y salud en el trabajo en Colombia: una revisión documental. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/54435/2024MorenoDiana.pdf?sequence=13>
40. Bedoya Aguilar, J. P., & Delgado Díaz, J. D. (2021). Análisis de los trastornos músculo esqueléticos presentes en operarios de montaje de canalizaciones del sector de la construcción. Posgrados. P 39. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1024/An%C3%A1lisis%20de%20los%20trastornos%20m%C3%BAsculo%20esquel%C3%A9ticos%20presentes%20en%20operarios%20de%20montaje%20de%20canalizaciones%20del%20sector%20de%20la%20construcci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
41. Gil Romero, L. A., & Colorado Prieto, J. W. (s.f.). Alcance de la industria 4.0 y su impacto en economías emergentes. <https://repository.ucc.edu.co/bitstreams/97125460-a9d5-4d16-a8bf-952fc365c10d/download>

42. Rodríguez Bonilla, A. M., & Díaz Blanco, J. A. (2020). Propuesta de un programa de pausas activas para prevenir desórdenes musculoesqueléticos en los trabajadores de Autoservicio Canasta SAS. Posgrado.  
<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/899/Propuesta%20de%20un%20programa%20de%20pausas%20activas%20para%20prevenir%20desordenes%20musculoesquel%C3%A9ticos%20en%20los%20trabajadores%20de%20Autoservicio%20Canasta%20S.A.S.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
43. Carvajal Rojas, J. H. (2017). La cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su impacto en la educación superior en ingeniería en Latinoamérica y el Caribe. Universidad Antonio Nariño, Colombia. [https://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/work\\_in\\_progress/WP386.pdf](https://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/work_in_progress/WP386.pdf)
44. Hummel, V., Schuhmacher, J., & Brenner, B. (2022, April). Development of a work system design method for the application of exoskeletons. In *Proceedings of the 12th Conference on Learning Factories (CLF 2022)*.
45. Kopp, V., Holl, M., Schalk, M., Daub, U., Bances, E., García, B., ... & Schneider, U. (2022). Exoworkathlon: A prospective study approach for the evaluation of industrial exoskeletons. *Wearable technologies*, 3, e22.
46. Esteves Lorenzo, E. (2022). *Los exoesqueletos y sus funcionalidades en la sociedad* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
47. Lopez, R. Desarrollo de un exoesqueleto para rehabilitación de tobillo y rodilla. 35 (1).
48. López, R., Aguilar, H., Salazar, S., Lozano, R., & Torres, J. A. (2014). Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad. *Revista iberoamericana de automática e informática industrial*, 11(3), 304-314.

49. Torres-Medina, Y., & Rodríguez, Y. (2023). Exoesqueletos industriales: siete principios para su implementación desde la perspectiva de la ergonomía. *Revista UIS ingenierías*, 22(2), 73-84.
50. Chávez Cardona, M. A., Rodríguez Spitia, F., & Baradica López, A. (2010). Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. *Revista Ingeniería Biomédica*, 4(7), 63-73.
51. Giraldo Gómez, D., Olarte Novoa, E., & Toloza Rodríguez, J. P. (2021). Diseño del programa de vigilancia epidemiológico osteomuscular para la prevención de lesiones musculoesqueléticas en trabajadores administrativos y operativos de la empresa FULGOR SAS en la ciudad de Bogotá.
52. Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital. Buenos Aires, Año 17, N° 170, Julio de 2012. <http://www.efdeportes.com/efd170/biomecanica-aplicada-al-deporte.htm>
53. Valencia, V. E. (2015). Revisión documental en el proceso de investigación. Universidad Tecnológica de Pereira-Univirtual: Aprendiendo Juntos.
54. Ramos, C. (2020). Los Alcances de una Investigación. *CienciAmérica*, 9(3). Recuperado el 11 de 08 de 2021, de <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
55. García, M. (2023). Los exoesqueletos y su impacto en la productividad laboral. *Revista de Tecnología y Robótica*, 15(4), 23-37.
56. Kumar, P., & Singh, S. (2020). Exoskeletons for industrial workers: A technological innovation for preventing musculoskeletal injuries. *Journal of Occupational Health and Safety*, 58(6), 720-730.

### **Imágenes:**

1. *Redirect notice.*

(s. f.). <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.infobae.com%2Fa>

merica%2Fmexico%2F2019%2F10%2F10%2Fmexicanos-disenaron-exoesqueleto-para-personas-que-perdieron-la-movilidad-en-los-brazos%2F&psig=AOvVaw3q1rYiV39ddsdCZCOnAzRL&ust=1729826049022000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCLDnjpaHpokDFQAAAAdAAAAABAE

2. Redirect notice. (s. f.-b).

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Forthexo.de%2Fes%2Fexoesqueletos%2Frehabilitacion-y-ayudas%2Fhal-reha%2F&psig=AOvVaw1aXQ4iBpTNay\\_3tb0Hblie&ust=1729963056933000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCIDZue2EqokDFQAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Forthexo.de%2Fes%2Fexoesqueletos%2Frehabilitacion-y-ayudas%2Fhal-reha%2F&psig=AOvVaw1aXQ4iBpTNay_3tb0Hblie&ust=1729963056933000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCIDZue2EqokDFQAAAAdAAAAABAE)

3. *Exoesqueleto pasivo de hombro CDYS de Crimson Dynamics*. (s. f.). Orthexo.de - Guía de Neuroortopedia y Exoesqueletos. <https://orthexo.de/es/exoesqueletos/exoesqueletos-industriales/cdys/>
4. **Iberdrola. (n.d.). ¿Qué son los exoesqueletos? Iberdrola.**

<https://www.iberdrola.com/innovacion/que-son-los-exoesqueletos>