

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
FACULTAD DE MEDICINA
TRABAJO FIN DE MÁSTER - MÁSTER UNIVERSITARIO EN
PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES



Título: Ergonomía e innovación en prevención: Análisis sobre el empleo de exoesqueletos en el entorno laboral.

Autora: Egea Alcaraz, Lidia.

Tutor: Nalda Molina, José Ricardo.

Curso académico: 2024 - 2025.

Convocatoria: Junio.



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. Ricardo Nalda Molina, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado "*Ergonomía e innovación en prevención: Análisis sobre el empleo de exoesqueletos en el entorno laboral*" y realizado por la estudiante Lidia Egea Alcaraz.

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 31/05/2025

Resumen

En los últimos años se ha observado un considerable crecimiento por el interés en avances tecnológicos que puedan aplicarse a entornos laborales. Dispositivos como drones, robots y exoesqueletos se han ido adaptando para poder ser utilizados en diferentes sectores y su incorporación al mundo laboral se encuentra en constante investigación y evolución.

El empleo de estos dispositivos en los puestos de trabajo puede ser beneficioso, pero al igual que aportan beneficios también pueden surgir nuevos riesgos, para los cuales se deben establecer medidas para intentar evitarlos.

Este trabajo surge del interés por conocer cuáles son los beneficios que pueden aportar los exoesqueletos en el entorno laboral y cuáles son los riesgos que pueden surgir de su uso, normativa aplicable y casos reales en los que se hayan implantado exoesqueletos en empresas, ya que desde la perspectiva de la prevención de riesgos laborales hay que permanecer en constante actualización y las nuevas tecnologías han venido para quedarse.

Palabras clave

Exoesqueletos, prevención, riesgos laborales, seguridad y ergonomía.

Índice

Introducción.....	5
Justificación.....	8
Objetivos.....	9
Material y métodos.....	10
Resultados y discusión.....	11
Conclusiones.....	47
Bibliografía.....	49



Introducción

En los últimos años se ha experimentado un aumento considerable de los avances tecnológicos empleados en el entorno laboral, los cuales permiten generar diversas oportunidades para los trabajadores durante el desarrollo de su actividad laboral.

El empleo de dispositivos tecnológicos como drones, robots o exoesqueletos permiten prevenir o reducir los riesgos presentes en las actividades llevadas a cabo en el entorno laboral. Permiten reducir los accidentes laborales y mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores. Estos dispositivos permiten reducir la carga física en la manipulación manual de cargas, al igual que permiten aliviar las tareas repetitivas, las posturas forzadas o las posturas estáticas.

Este trabajo se centrará en las ventajas o inconvenientes que podemos observar en el empleo de exoesqueletos.

Debido a las diferentes aplicaciones y funcionalidades de los exoesqueletos no existe una definición común, pero podríamos definirlos como dispositivos portátiles que permiten reducir la actividad muscular de las zonas del cuerpo más afectadas.

Es conocido el uso de los exoesqueletos en el ámbito rehabilitador, pero el empleo de estos dispositivos en otros ámbitos como el ejército o la industria ha crecido en los últimos años, ya que permiten reducir la carga física del trabajo.

Según los criterios utilizados podemos clasificar los exoesqueletos en diferentes categorías:

- Según su uso: Médico y no médico.
- Según la parte del cuerpo a la que ayuda: Tren superior, tren inferior, cuerpo entero y espalda.
- Según la forma de funcionamiento: Activo y pasivo.
- Según su movilidad: Fijo, soportado y móvil.

Como se menciona anteriormente, uno de los principales empleos de estos dispositivos en el entorno laboral es el de reducir los trastornos musculoesqueléticos (TME). (1,2,3)

Los trastornos musculoesqueléticos pueden originarse de manera repentina, como fracturas, esguinces y distensiones, o deberse a enfermedades crónicas que limiten las capacidades

funcionales de las personas, provocando así incapacidades permanentes, pudiendo afectar a huesos, articulaciones, músculos, tendones y nervios.

Este tipo de lesiones suelen ser las más habituales en el entorno laboral, afectando a millones de trabajadores en España y Europa. Los TME de origen laboral más frecuentes afectan principalmente a la espalda, el cuello, los hombros y las extremidades, debidos principalmente a sobresfuerzos durante la jornada laboral.

Estos TME pueden originarse por diferentes factores: físicos, biomecánicos, organizativos y psicosociales, debiendo tenerse en cuenta también las características individuales de cada persona.

Entre los factores expuestos anteriormente existen diversas causas que pueden originar TME, pudiendo destacar, entre otras:

- Manipulación de cargas.
- Movimientos repetitivos o enérgicos.
- Posturas forzadas y estáticas.
- Vibraciones.
- Velocidad del ritmo de trabajo.
- Largas jornadas y ausencia de descansos.

La introducción en el entorno laboral de nuevas tecnologías supone nuevos retos para los servicios de prevención de riesgos laborales, ya que, al igual que pueden ayudar a prevenir o reducir riesgos, también pueden presentarse nuevos riesgos debidos a su utilización.

Centrándonos en el empleo de exoesqueletos en el ámbito laboral para prevenir trastornos musculoesqueléticos, adquiere especial relevancia la ergonomía. (4,5,6)

Según la Asociación Española de Ergonomía, se define ergonomía como “*el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar.*”

Dada la creciente incorporación de las nuevas tecnologías en el entorno laboral podemos encontrar una actualización del término de ergonomía, encontrando en numerosos textos referencias a el término ergonomía 4.0, la cual permite conectar a la persona, a través de dispositivos inteligentes (dispositivos wearables), con el entorno digital, permitiendo una

integración más eficiente y asegurar que tanto el equipo de trabajo, como los demás elementos del sistema están distribuidos según los principios ergonómicos. (7,8,9)

Dado que los exoesqueletos pueden ser empleados en diferentes ámbitos no hay una normativa única por la que se ríjan, depende del diseño y el uso previsto para cada dispositivo, ya que pueden considerarse como un dispositivo médico, una ayuda técnica para la realización del trabajo o como un equipo de protección individual (EPI) si protege al trabajador durante el desarrollo de su actividad laboral.

Debemos partir de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, en cuyo artículo 15 se cita la obligación de eliminar los riesgos existentes y, en caso de no poder hacerlo, la necesidad de aplicar las medidas pertinentes para reducirlos y controlarlos. En este caso, si después de haber implantado las medidas colectivas necesarias sigue existiendo riesgo y es necesario la implantación de medidas individuales para los trabajadores, es en este punto cuando se podría valorar el empleo de los exoesqueletos por los trabajadores. Apoyándonos además en el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. (10,11)

Para considerar un exoesqueleto como un dispositivo médico debe cumplir con el Reglamento (UE) 2017/745 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2017, el cual deroga, entre otras a la Directiva Europea 93/42/CEE, de 14 de junio de 1993, relativa a los productos sanitarios. (12)

Al considerar un exoesqueleto como una ayuda técnica debe regirse por la Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a máquinas, la cual modifica la Directiva 95/16/CE. (13)

En el caso de los exoesqueletos activos, los que sean considerados como máquinas, deberán cumplir con lo establecido en el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas. Pudiendo definirse más detalladamente en las normas UNE-EN ISO 10208-1:2012 y UNE-EN ISO 13482:2014. (14,15,16)

Si un exoesqueleto está certificado como equipo de protección individual (EPI), se regirá según el Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo. (17)

Justificación

En los últimos años, la evolución tecnológica ha ido evolucionando muy rápidamente. Dentro del ámbito de la prevención de riesgos laborales ha sufrido también una constante evolución en los métodos y la tecnología aplicada para evitar accidentes.

La evolución más novedosa que se pretende analizar en este trabajo es sobre los exoesqueletos. Estos dispositivos se están concibiendo para evitar lesiones en el ámbito laboral en determinados sectores y trabajos.

Se recopilará información de diversa índole para analizar y comprender mejor los beneficios y limitaciones del uso de estos dispositivos. Aunque hay multitud de estudios en los que se analizan los beneficios de estos dispositivos para el usuario, también existen posibles efectos adversos.

Por otro lado, también se pretende analizar la legislación vigente aplicada para este tipo de dispositivos, ya que al estar en constante desarrollo y evolución no hay un marco normativo unificado.

El interés en la realización de este trabajo surge debido a que cada vez son más las empresas que se están decidiendo a implementar exoesqueletos en sus actividades laborales. Permitiéndonos consultar información con la que poder asesorarse en la implementación de esta tecnología.

Objetivos

Objetivo principal

- Realizar una revisión narrativa para analizar el empleo de los exoesqueletos en el entorno laboral, así como las ventajas o inconvenientes derivados de su uso.

Objetivos específicos

- Revisar diferentes publicaciones sobre los exoesqueletos en el entorno laboral.
- Mencionar la normativa reguladora del empleo de exoesqueletos.
- Comprobar los diferentes exoesqueletos existentes.
- Analizar ventajas del uso de exoesqueletos para prevenir trastornos musculoesqueléticos.
- Analizar los posibles inconvenientes derivados de su uso.



Material y métodos

Se llevará a cabo una revisión narrativa de estudios científicos, publicaciones de revistas, informes técnicos y normativas relacionadas con el uso de exoesqueletos en la prevención de riesgos laborales.

Para desarrollarla se utilizarán bases de datos como Pubmed, Research o Google Scholar, además de informes, revistas y normativas publicadas por organismos oficiales como la Organización Internacional de Trabajo (OIT), Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA) o el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST).

La búsqueda se realizará empleando las siguientes palabras clave: exoesqueletos, prevención, riesgos laborales, seguridad y ergonomía.

Puesto que la cantidad de publicaciones encontradas es bastante amplia se seleccionarán las publicaciones que cumplan con los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Publicaciones realizadas en los últimos 10 años, de manera que la información obtenida sea actualizada.
- Publicaciones relacionadas con el empleo de exoesqueletos en la prevención de riesgos laborales.
- Publicaciones a las que se pueda tener acceso al texto completo.
- Publicaciones en español e inglés.

Resultados y discusión

El empleo de los exoesqueletos despierta un interés cada vez mayor y aunque no existe una definición única, aunque una definición completa es que “*un exoesqueleto es un sistema mecánico-textil portado por una persona para realizar ciertas tareas, a la que proporciona un suplemento de fuerza local en la espalda, hombros, codos, muñecas, etc., mientras realiza un movimiento específico, por compensación de sus esfuerzos o por un aumento de sus capacidades motrices. De esta manera permite un incremento de la fuerza y/o asistencia en los movimientos o en las posturas.*” (18)

Tipos de exoesqueletos:

Como se expuso anteriormente, existen diferentes tipos de exoesqueletos, por lo que podemos clasificarlos en diferentes categorías, las cuales vamos a desarrollar a continuación.

Según su uso:

Dependiendo del uso que se les den a los exoesqueletos podemos diferenciarlos entre:

- **Médicos:** Utilizados en centros de rehabilitación neurológica para la rehabilitación de personas con lesiones medulares y movilidad reducida, y actualmente en desarrollo en quirófanos.

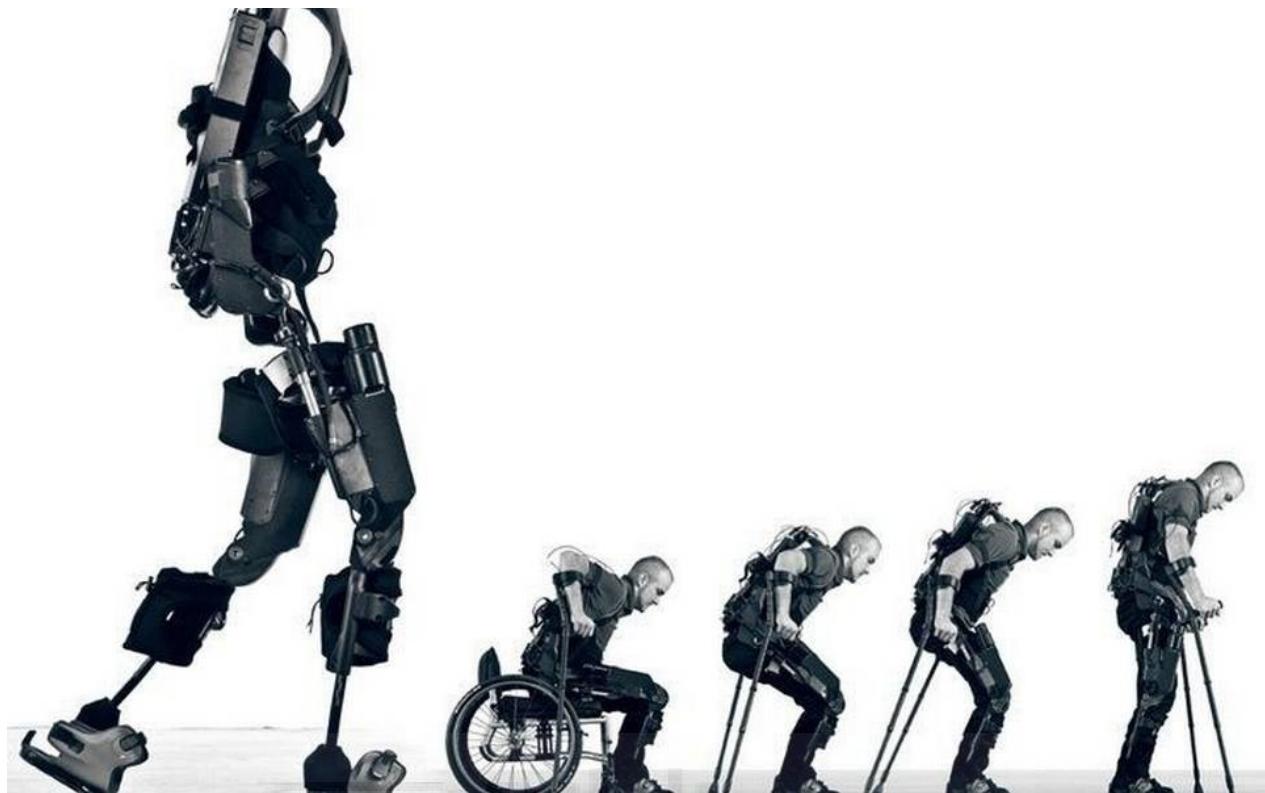


Figura 1: Ejemplo de exoesqueleto empleado en rehabilitación neurológica.



Figura 2: Demostración de exoesqueletos utilizados cada vez más por el personal sanitario en quirófanos, por ejemplo, en operaciones de larga duración.

- *No médicos*: Este tipo de dispositivos se emplean en distintos sectores como pueden ser:
 - o Militar: Mejorando la fuerza, resistencia y movilidad de las personas que los utilizan, lo que permite realizar tareas pesadas con mayor facilidad, mejorar, por ejemplo, la precisión de tiro, reducir la fatiga en actividades físicas intensas, etc.



Figura 3: Ejemplo de exoesqueleto que puede utilizarse para reducir fatiga muscular en largas marchas o carga de peso.



Figura 4: Ejemplo de exoesqueleto que podría utilizarse para aliviar la carga en miembros superiores.

- o Industrial: Empleados sobre todo en actividades que requieren de un mayor esfuerzo físico y en trabajos repetitivos como pueden ser fabricación, montaje, manipulación de cargas, entre otras. Permitiendo en estos casos reducir el esfuerzo físico en el desarrollo de tareas, mejorando la ergonomía y, por ende, reduciendo los trastornos musculoesqueléticos.



Figura 5: Ejemplo de exoesqueleto utilizado en casos como montaje o fabricación.



Figura 6: Ejemplo de exoesqueleto completo utilizado en tareas de manipulación de cargas, como puede ser en una cadena de montaje.

- o Agrícola: Al igual que en el sector industrial se emplea en actividades con elevado esfuerzo físico, posturas mantenidas, tareas repetitivas, etc, como pueden ser empuje, traslado o levantamiento de cargas pesadas, posturas en las que el tronco deba mantenerse flexionado durante largos periodos de tiempo como puede ser en la siembra o recolección. Con la misma finalidad que en el sector anterior, el empleo de exoesqueletos permite reducir la fatiga física durante el desempeño de las distintas tareas, mejora la ergonomía y reduce los trastornos musculoesqueléticos.



Figura 7: Ejemplo de uso de exoesqueletos en tareas de traslado o levantamiento de cargas pesadas.



Figura 8: Ejemplo de exoesqueleto utilizado en tareas de siembra o recolección.

- o Deporte: El empleo de exoesqueletos en este sector pretende mejorar el rendimiento y facilitar la práctica deportiva al mismo tiempo que se pretende reducir el riesgo de lesiones deportivas.



Figura 9: Ejemplo de exoesqueleto utilizado en actividades deportivas como correr, senderismo, trekking, etc.



Figura 10: Ejemplo de exoesqueleto utilizado en actividades deportivas, en este caso esquí.

Según la parte del cuerpo a la que ayuda:

- *Tren superior:* Suele emplearse en actividades que deban realizarse por encima de los hombros, permitiendo soportar el peso de las herramientas y descargar la tensión de la zona superior de la espalda y los hombros. Podemos encontrar también algunos específicos para las manos.



Figura 11: Ejemplo de exoesqueleto de tren superior.

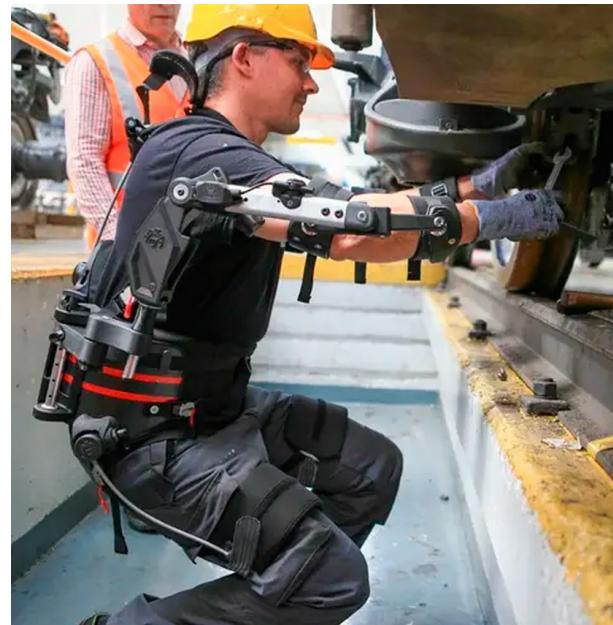


Figura 12: Ejemplo de uso de un exoesqueleto de tren superior.

- *Tren inferior:* Permiten un apoyo durante el desarrollo de las tareas que requieran una posición bípeda estática, o con pequeños desplazamientos, durante un tiempo prolongado. De esta manera es posible aliviar la tensión de las piernas además de facilitar el retorno venoso y descargar la zona lumbar.



Figura 13: Ejemplo de uso de exoesqueleto de tren inferior.



Figura 14: Ejemplo de uso de exoesqueleto de tren inferior.

- **Cuerpo entero:** Proporcionan ayuda y soporte tanto al tren inferior como al tren superior.



Figura 15: Ejemplo exoesqueleto de cuerpo entero.



Figura 16: Ejemplo de exoesqueleto de cuerpo entero.

- *Espalda:* Ayudan a proteger la espalda al levantar peso o realizar posturas incómodas repartiendo el peso a zonas como el pecho o las piernas, en las que hay grupos musculares más potentes, y reducir así la carga y la fatiga en la zona lumbar.



Figura 17: Ejemplo de exoesqueleto para espalda.



Figura 18: Ejemplo de exoesqueleto para espalda.

Según la forma de funcionamiento:

- **Activo:** Son los que incorporan motores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, y en algunos casos, sensores biométricos para asistir al trabajador. Su principal diferencia es que usan energía externa.

Estos son los más utilizados en rehabilitación y de forma minoritaria en la industria pesada y el ámbito militar.

Además, este tipo de exoesqueletos tienen un elevado coste, necesitan de un mantenimiento regular y un aporte de energía estable.



Figura 19: Logotipo exoesqueletos activos.

- **Pasivo:** Los pasivos utilizan amortiguadores o muelles para distribuir el esfuerzo del trabajador, debido a eso no generan movimientos por sí mismos, pero asisten al trabajador reduciendo el esfuerzo necesario que el trabajador debe realizar en el desarrollo de las distintas tareas.

Este tipo de exoesqueletos son los más usados para prevención de riesgos laborales, sobre todo en el campo de la ergonomía, siendo mayormente utilizados en sectores como logística o montaje.

Tienen un menor coste que los activos y requieren de un menor mantenimiento.



Figura 20: Logotipo exoesqueletos pasivos.

Ambos tipos, debido a la gran diversidad de modelos y usos para los que están desarrollados son de uso individual, deben adaptarse a cada persona. Esto puede ser un problema, ya que un exoesqueleto que no se adapta al usuario puede derivar, con el tiempo, en problemas para el mismo.

Según su movilidad:

- *Fijo:* Estos exoesqueletos suelen estar sujetos a una pared o un soporte y suelen encontrarse en puestos de trabajo mayoritariamente estáticos, que no requieren desplazamientos. Al encontrarse sujetos permiten aliviar el peso que soporta el trabajador.



Figura 21: Exoesqueleto fijo.

- *Soportado:* Este tipo de exoesqueleto se encuentra parcialmente sujeto a una estructura, lo cual permite soportar baterías o motores del dispositivo en soportes externos, aliviando el peso que debe soportar el trabajador y permitiendo una mejor movilidad que los exoesqueletos fijos. Suelen utilizarse en tareas semiestáticas, es decir, tareas en las que el trabajador permanece mayoritariamente en la misma posición y se realizan pequeños desplazamientos.



*Figura 22: Exoesqueleto sopor-
tado.*

- **Móvil:** En este caso es el trabajador el que porta totalmente el exoesqueleto. Es el tipo de exoesqueleto más dinámico y permite la realización de distintas tareas en lugares diferentes, ya que el trabajador puede desplazarse libremente de un lado a otro, aunque presentan el inconveniente de que al tener que cargar con la totalidad del peso puede generar más fatiga durante un uso prolongado o si no se ajustan correctamente, aunque estos dispositivos presentan diseños cada vez más ergonómicos y livianos. Gracias a su versatilidad son los más utilizados actualmente.



Figura 23: Exoesqueleto móvil.

Elección de un exoesqueleto:

Partiendo de la base de los diferentes tipos de exoesqueletos que se pueden encontrar y el uso al que están destinados, se debe plantear la siguiente pregunta:

¿Es necesario el empleo de un exoesqueleto en un determinado puesto de trabajo?

Según lo establecido en la Ley 31/1995 de Prevención de riesgos laborales, en su artículo 15, se detallan los principios de la acción preventiva, los que indican que en primer lugar se deben evitar los riesgos y posteriormente evaluar los riesgos que no puedan evitarse, para ello se deben combatir los riesgos desde su origen y se deben anteponer medidas colectivas a las medidas individuales.

Por ello, cuando se detecta un riesgo ergonómico, en primer lugar, se debe atajar desde la raíz del problema, es decir, implementar las medidas correctivas necesarias para su eliminación, rediseñando el puesto de trabajo si es necesario. En el caso de que esto no sea suficiente se procedería a implantar las medidas colectivas necesarias para mitigar lo máximo posible el riesgo, implantando además medidas preventivas individuales en el caso de que las colectivas no sean suficientes, es en este punto donde entran los exoesqueletos.



Figura 24: Etapas para reducir un riesgo en un puesto de trabajo y momento en el que se incorporan los exoesqueletos si son necesarios.

¿Qué exoesqueleto es el más adecuado?

Llegados a este punto, en el que se considera la opción de implantar un exoesqueleto en un puesto de trabajo, hay que plantearse cuál sería el más adecuado. Para ello se debe responder a varias cuestiones:

- ¿Qué zona del cuerpo se pretende proteger o asistir?
- ¿Es compatible el exoesqueleto seleccionado con la tarea a desarrollar?
- ¿Qué beneficios aporta?
- ¿Qué limitaciones presenta?
- ¿Cuáles serían los riesgos derivados de su uso y las medidas preventivas correspondientes?
- ¿Qué impactos puede presentar tanto para la persona que lo lleva como para el entorno?

A continuación, se exponen algunos aspectos que pueden ayudar a responder las cuestiones anteriores.

- Compatibilidad con el puesto de trabajo: Duración de la tarea, trayectorias, ligereza, confort, etc.
- Relación con los objetivos de producción: Eficiencia, calidad de la producción, si la duración de la tarea usando el exoesqueleto es similar o diferente a cuando no se utiliza, etc.
- Usabilidad: Es decir, facilidad con la que un usuario puede utilizar un exoesqueleto para desempeñar una tarea de manera satisfactoria. Para ello se deben tener en cuenta detalles como la facilidad de su puesta en marcha y uso, el mantenimiento que requiere, facilidad de poner o quitar, disponibilidad de tallajes, que sea adaptable para cada persona, etc.
- Seguridad: Riesgos por deterioro del exoesqueleto, riesgos que afecten al usuario, riesgos que afecten a terceros, riesgos sobre el entorno laboral, etc.
- Impactos en los usuarios: Peso del exoesqueleto, correcto ajuste del exoesqueleto al usuario, material de fabricación, roces o heridas que pueda producir el exoesqueleto

en algunas partes del cuerpo, libertad de movimientos, periodo de adaptación, tiempo de aprendizaje, percepción de los trabajadores, etc.

- Impactos en el entorno: Disponibilidad de espacio para su empleo, de modo que no se produzcan choques o se invada espacio de trabajo de otras personas, disponibilidad de espacio para su almacenamiento, disponibilidad de espacio para su mantenimiento, etc.

Además de todo lo expuesto, también debe tenerse en cuenta que las condiciones presentes en los laboratorios de ensayo no son las mismas que las condiciones que se pueden presentar en los entornos laborales, que es donde realmente se van a utilizar los exoesqueletos. Por ello deben realizarse una evaluación tanto objetiva como subjetiva.

En una evaluación objetiva se deben recopilar datos que sean medibles, que permitan comparar resultados. Estos pueden ser, entre otros:

- Electromiografía, lo que permite detectar la actividad muscular de los grupos musculares implicados en la tarea.
- Control de la frecuencia cardíaca, permitiendo conocer el consumo energético, así como la existencia o no de fatiga en el trabajador durante el uso del exoesqueleto.
- Temporalización de los tiempos de producción.
- Comprobar la precisión en el desarrollo de las tareas a la que está destinado el exoesqueleto.
- Evaluaciones ergonómicas.

En una evaluación subjetiva se recopila información relacionada con la percepción de los usuarios en base a su experiencia tras el uso de un exoesqueleto. Esta información puede recopilarse de diferentes maneras, algunos ejemplos son:

- Cuestionarios sobre la comodidad, adaptabilidad o la aceptación de los exoesqueletos por parte de los usuarios.
- Entrevistas donde los usuarios puedan compartir sus experiencias con el uso de exoesqueletos, pros y contras, facilitar la posibilidad de que puedan aportar posibles mejoras, ya que al final serán ellos los que tendrán que utilizarlos y su aceptación es primordial.

Ambas evaluaciones son complementarias, puede realizarse una u otra, pero lo ideal es realizar ambas, ya que de este modo se obtiene una información completa que permita tomar la decisión más adecuada sobre la implantación o no de un exoesqueleto en un puesto de trabajo.

Si finalmente se considera que los beneficios que aporta un exoesqueleto en un puesto de trabajo son superiores a los posibles inconvenientes, se proseguirá a su implantación en la empresa.

Para llevar a cabo este paso es fundamental la implicación y formación de los trabajadores que vayan a utilizar los exoesqueletos.

Inicialmente los trabajadores deben recibir la información necesaria sobre el dispositivo, la formación al respecto debe ser específica sobre el uso del exoesqueleto a utilizar, instruir en las características del exoesqueleto, aprender a controlarlo, aprender a colocárselo y a quitárselo, etc., además los trabajadores deben recibir toda la información relacionada con los nuevos riesgos que pueden surgir por el uso del exoesqueleto, así como las medidas preventivas correspondientes a dichos riesgos.

La adaptación de los trabajadores a los exoesqueletos debe ser progresiva, de manera que el uso del dispositivo por parte del usuario sea seguro y eficaz.



Figura 25: Pautas para la implantación de un exoesqueleto en el entorno laboral.

Beneficios del empleo de exoesqueletos:

El uso de exoesqueletos en el entorno laboral proporciona diversos beneficios siempre que sean utilizados adecuadamente. Deben ajustarse correctamente al usuario y este debe recibir la información y formación necesaria para su correcto uso.

El beneficio principal que proporcionan estos dispositivos es la reducción de los trastornos musculoesqueléticos. Existen numerosos estudios que afirmaban este beneficio y cada vez es mayor el número de empresas que han puesto en práctica el empleo de estos dispositivos y han corroborado lo que los estudios ya exponían, que el uso de exoesqueletos en entornos laborales donde se realizan actividades donde tengan que desplazarse pesadas cargas, se requieran posturas mantenidas durante un largo periodo de tiempo o tareas repetitivas ven reducido el número de lesiones en los trabajadores, y por ende, el número de bajas laborales en la empresa.

El apoyo que proporcionan los exoesqueletos permite que los usuarios adopten posturas más ergonómicas durante el desarrollo de las actividades laborales, disminuyendo así la fatiga muscular.

Al reducirse la fatiga muscular y el riesgo de posibles lesiones los trabajadores pueden desarrollar su actividad laboral de manera más efectiva, lo cual repercute directamente en la producción, siendo así más favorable.

Otro beneficio que ofrece el uso de los exoesqueletos en el entorno laboral es que ofrecen una mayor facilidad de reincorporación al mercado laboral.

En este caso podrían verse beneficiadas personas mayores de 50 años, las cuales suelen tener más lesiones por la realización de tareas que requieran manipulación de cargas, tareas repetitivas o mantenidas durante un largo periodo de tiempo, y pueden requerir readaptaciones del puesto de trabajo o incluso traslado de un puesto a otro y no sea posible esa opción en la empresa.

Otro colectivo que podría beneficiarse del uso de estos exoesqueletos son las personas que presenten algún tipo de restricción médica para el desarrollo de su actividad laboral y que, como se menciona anteriormente, la empresa no tuviera la opción de cambiar el puesto de trabajo, pudiendo utilizarse estos dispositivos como un producto de apoyo que podría ayudar a que estas personas vuelvan a desarrollar su actividad laboral de manera eficiente.

Riesgos y medidas preventivas:

Los exoesqueletos pueden provocar la aparición de nuevos riesgos derivados de uso, sobre todo si no se utilizan correctamente. Dichos riesgos pueden estar relacionados con la seguridad e higiene, además de riesgos ergonómicos y psicosociales. A continuación, se detallan algunos de esos riesgos, así como medidas preventivas que podrían ayudar a evitarlos o reducirlos.

Riesgos en seguridad:

- Choques o tropiezos con otras personas u otros elementos del entorno por falta de espacio, limitación de la movilidad o falta de visibilidad.
- Caídas por cambio de cargas, alteración propioceptiva o movimientos incontrolados.
- Rozaduras por mal ajuste del exoesqueleto y presión ejercida por el mismo durante su uso.

Como medidas preventivas para estos riesgos podría plantearse:

- Realizar pruebas fuera de producción que permitan adaptarse al espacio, dimensiones del puesto de trabajo, velocidad de trabajo, cambio de cargas, etc., para posteriormente introducirlos en situaciones reales de trabajo, de manera que se realice una incorporación progresiva y segura.
- Formar a la persona que vaya a utilizar el exoesqueleto, de manera que sea capaz de ajustarlo de manera correcta para evitar posibles heridas o rozaduras, proporcionar las instrucciones de funcionamiento del dispositivo y respetar el periodo de adaptación para que la persona se adapte al dispositivo, sea capaz de controlar la nueva propiocepción y sea capaz de realizar las actividades con fluidez.

Riesgos higiénicos:

- Discomfort térmico por uso del exoesqueleto durante largos períodos de tiempo o en trabajos con altas temperaturas.
- Higiene deficiente si el dispositivo es utilizado por varias personas.

Como medidas preventivas para estos riesgos podría plantearse:

- Realizar una evaluación del entorno de trabajo, condiciones de trabajo y valorar la posibilidad de realizar adaptaciones como instalar sistemas de ventilación o climatización, elección de ropa adecuada, alternancia de tareas, etc.
- Selección de exoesqueletos compuestos por materiales adecuados a la actividad laboral a desempeñar, de manera que se facilite la transpiración.
- Realizar limpiezas periódicas del dispositivo y todos sus componentes.
- Los textiles que estén en contacto directo con el usuario deberán ser de uso individual.

Riesgos ergonómicos:

- Compresiones que pueden provocar hematomas, heridas o irritaciones en la piel.
- Dificultades para su correcta colocación y ajuste.
- Aumento global de la carga que debe transportar el usuario y aumento del gasto energético.
- Riesgos ergonómicos por movimientos incontrolados.
- Sobrecarga en otras partes del cuerpo al redistribuir la carga a otros grupos musculares.

Como medidas preventivas para estos riesgos podría plantearse:

- Seleccionar un exoesqueleto que se adapte a las características del usuario.
- Formar al usuario para que sea capaz de ajustar y adaptar el dispositivo correctamente.
- Establecer un periodo de adaptación para que el usuario sea capaz de colocar y retirar adecuadamente el dispositivo, ajustarlo, controlar los movimientos, etc.
- Seleccionar exoesqueletos ligeros, que reduzcan la carga para el usuario, así como exoesqueletos de menor volumen, de manera que interfieran lo mínimo posible con los elementos del entorno.
- Evaluar las capacidades de la persona que utilizará el exoesqueleto.
- Establecer límites de peso, de movimientos o de tiempo de uso de manera que la tarea a realizar sea lo más fluida posible.

- Alternar actividades en las que se utilizan exoesqueletos con actividades en las que no sea necesario su uso, de manera que el usuario disponga de periodos de descanso de estos dispositivos.

Riesgos psicosociales:

- Sensación de pérdida de autonomía.
- Aumento del estrés y fatiga cognitiva del usuario al requerir de una mayor atención y concentración durante el desarrollo de las actividades laborales.

Como medidas preventivas para estos riesgos podría plantearse:

- Sensibilización y formación de los usuarios con el fin de reducir los riesgos y aumentar la aceptación de estos dispositivos.
- Facilitar un periodo de adaptación para que el usuario se familiarice con el exoesqueleto y sea capaz de desempeñar las tareas requeridas.
- Trasladar posteriormente a un entorno laboral real.

Normalización:

Como se ha mencionado con anterioridad, existen diferentes tipos de exoesqueletos, los cuales pueden ser utilizados en diversos sectores. Es por ello que no existe una normativa única que regule el empleo de los exoesqueletos, ya que según el uso al que estén destinados es posible acogerse a una normativa u otra. A continuación, se mencionan las distintas funcionalidades que pueden presentar los exoesqueletos y la normativa correspondiente por la que deben regirse en cada caso.

Dispositivo médico	Reglamento (UE) 2017/745 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2017
Ayuda técnica	Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006

Exoesqueletos activos (los que sean considerados como máquinas)	Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre UNE-EN ISO 10208-1:2012 UNE-EN ISO 13482:2014
Equipos de protección individual (EPI)	Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016

Casos reales donde se han implantado exoesqueletos en el entorno laboral:

Cada vez son más las empresas que apuestan por la implantación de los exoesqueletos en sus instalaciones. Aunque actualmente no hay demasiada información sobre su uso en un largo periodo de tiempo ya se pueden observar los beneficios que estos dispositivos ofrecen en el campo de la prevención de riesgos laborales y, a su vez en las empresas.

A continuación, se puede observar una tabla con las principales empresas e instituciones que han publicado sus resultados obtenidos con el uso de exoesqueleto y el modelo utilizado, posteriormente, se expondrán dichos resultados de manera más detallada.

Exoesqueleto	Empresa	Resultados	Sector
EksoVest	Ford	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del 30% de fatiga muscular. - Menor absentismo por lesiones. 	Industrial
Ekso Vest Chairless Chair	Amazon	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución del 20% de los TME. - Mayor eficiencia en manipulación de cargas. 	Logística
SuitX	Repsol, Iberbrola	<ul style="list-style-type: none"> - 35% menos carga en espalda en trabajos en altura. - Adaptación 	Construcción, industria

		rápida de los trabajadores.	
FORTIS	Navantia	<ul style="list-style-type: none">- Reducción de fatiga muscular.- Precisión de trabajo.	Industrial



Ford

La empresa Ford ha sido una de las primeras en la implantación de los exoesqueletos para su uso en prevención de riesgos laborales, con el objetivo de reducir las lesiones y mejorar la ergonomía.

Como se ha explicado en diversas ocasiones, estos exoesqueletos suelen utilizarse en tareas repetitivas y tareas que requieren de un esfuerzo físico, demostrando en este caso su eficacia.

Uno de los lugares donde se llevó a cabo estas primeras pruebas fue en la fabricación de automóviles. Los trabajadores que realizaban movimientos repetitivos podían sufrir lesiones del tren superior y presentar fatiga muscular crónica, derivando todo ello en bajas laborales por trastornos musculoesqueléticos.

Por ello, para esta sección la empresa puso a disposición de los trabajadores unos exoesqueletos pasivos en las fábricas de España y Estados Unidos.

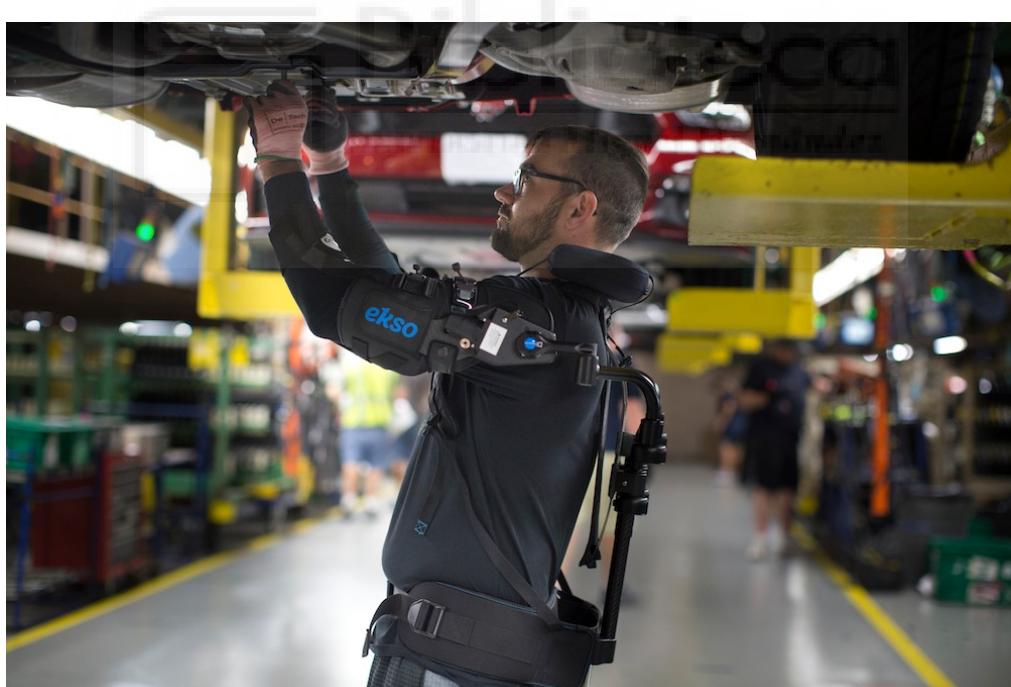


Figura 26: Exoesqueleto EksoVest.

La prueba llevada a cabo en España se desarrolló en el año 2018 en la fábrica de Valencia con el modelo de exoesqueleto *EksoVest* de *Ekso Bionics*.

Con la aplicación de este dispositivo lograron una reducción de la fatiga muscular en un 35 %, así como una reducción de las lesiones del tren superior, y por consiguiente un aumento de la productividad.

Posteriormente, en el año 2020, se implantaron exoesqueletos en otras fábricas como la de Michigan (EEUU) y Colonia (Alemania) tras el éxito obtenido en la fábrica de Valencia. En estos casos se probó con otros modelos de exoesqueletos diferentes como el *Chairless Chair* de Noonee.

Este exoesqueleto estaba más orientado a disminuir las lesiones de la zona lumbar y tren inferior.



Figura 27: Exoesqueleto Chairless Chair.

Los resultados obtenidos de la implantación en estas fábricas dieron como resultado la disminución de las lesiones en espalda y rodillas, una mejor ergonomía y adaptación a las distintas tareas de la fábrica.

Desde 2021 Ford continúa investigando en este campo, pero ahora con exoesqueletos activos y sistemas de peso reducido, colaborando con diferentes plataformas de desarrollo y universidades para optimizar estos dispositivos.



Amazon

La empresa Amazon también realizó pruebas con los exoesqueletos pasivos más utilizados como los anteriormente mencionados:

- *Chairless Chair* de Noonee.
- *EksoVest* de Ekso Bionics.

En este caso, al igual que en otras empresas, el uso de estos exoesqueletos tuvo un resultado satisfactorio, pero desde el año 2020 implementaron un paso más avanzado.



Figura 28: Exoesqueleto Sarcos Robotics.

En 2020, en los almacenes de EEUU iniciaron las pruebas piloto con el exoesqueleto *Sarcos Robotics*. Un exoesqueleto activo, motorizado, diseñado para levantar cargas de hasta 90 kg sin esfuerzo.

Con este dispositivo se redujeron las lesiones por movimiento de cargas y hubo una mayor eficiencia de los trabajadores. Tras el éxito de todas las pruebas realizadas, extendieron los exoesqueletos a más almacenes, algunos de ellos ubicados en Europa y Japón.

Además del estricto sistema de esta empresa en prevención de riesgos laborales, con la incorporación de los exoesqueletos lograron reducir un 20% los trastornos musculoesqueléticos en los almacenes.

Amazon, al igual que otras empresas como Ford, sigue investigando en el desarrollo de los exoesqueletos para que estos sean más ligeros y adaptables.

Actualmente ambas empresas se encuentran desarrollando sistemas de inteligencia artificial para reducir los errores de movimiento y ajustar automáticamente el movimiento.



Repsol, Iberdrola

Repsol e Iberdrola, con el exoesqueleto SuitX han logrado reducir un 35% la carga en la zona lumbar, además de conseguir con este dispositivo una rápida adaptación de los usuarios al equipo.



Figura 29: Exoesqueleto SuitX.



Figura 30: Exoesqueleto SuitX.

Navantia

Otra de las empresas que quiere investigar en el sector de los exoesqueletos es la empresa Navantia, pero esta vez combinada con el uso de maquinaria en el sector industrial.

En este caso optaron por un exoesqueleto denominado FORTIS, diseñado por la empresa Lockheed Martin, empresa estadounidense referente en el sector de la industria de defensa. Este exoesqueleto está diseñado para usuarios de entre 160 y 185 cm de altura, siendo adaptable a diferentes usuarios dentro del rango anterior de altura.

Pensado para trabajos con miembros superiores, puede adaptarse también a miembros inferiores, es de tipo pasivo y diseñado en aleaciones de aluminio y titanio, con un peso de 11 kg. Además de reducir la fatiga muscular, es capaz de estabilizar los movimientos, por lo que, además de ser útil para reducir lesiones por sobrecarga, también previene accidentes por un movimiento aleatorio de una máquina pesada.

Según los estudios del fabricante pueden reducir hasta un 60% el esfuerzo con herramientas pesadas. Este dispositivo es muy utilizado en astilleros para trabajos de soldadura y corte.



Figura 31: Exoesqueleto FORTIS con soporte para sujeción de herramientas.

Toda esta información resulta de gran utilidad para las empresas a la hora de adquirir un exoesqueleto.

Durante los últimos años y debido al desarrollo de los exoesqueletos en diversos sectores empresariales, varios países han empezado a implantar ayudas y proyectos para la reinserción de personas mayores de 50 años, lo que permite además atrasar la edad de jubilación.

Entre ellos están países como Alemania y Japón, estos dos países están desarrollando normativas y proyectos con empresas en varios sectores, puesto que, gracias a la ayuda de los exoesqueletos, tanto activos como pasivos, se consigue:

- Reducir el desgaste físico en las jornadas laborales.
- Retrasar la jubilación,
- Facilitar la reinserción laboral de las personas mayores de 50 años.

En Japón, una de las poblaciones más longeva del mundo, buscan cubrir sectores como la construcción y logística.

Para ello están implementando el exoesqueleto *Cyberdyne HAL*. Este dispositivo reduce la carga muscular de la espalda y el tren inferior, posibilitando así al usuario levantar cajas o agacharse sin esfuerzo. Este dispositivo está siendo utilizado en almacenes y fábricas para trabajos repetitivos.



Figura 32: Exoesqueleto *Cyberdyne HAL*.

Otro exoesqueleto utilizado por este país es el *Panasonic Power Assist Suit*, siendo utilizado por empresas como Toyota y Mitsubishi.



Este dispositivo se está utilizando para trabajos de logística, orientado a las personas de mayor edad.

En el caso de Alemania, se está impulsando un programa llamado “*WORK 4.0*”, donde el país pretende alargar la edad de jubilación y selecciona los exoesqueletos con ese fin.

Este programa se está llevando a cabo con los siguientes exoesqueletos:

- *Ottobock Paexo*.
- *German Bionic Cray X*.

Ottobock Paexo pensado para el sector de construcción y trabajos repetitivos, lo están implantando empresas como BMW y Siemens en empleados de más de 50 años, consiguiendo una reducción del 15% de la fatiga muscular en personas mayores y una reducción de las bajas laborales.



Figura 34: Exoesqueleto Ottobock Paexo.

El modelo *German Bionic Cray X*, utilizado por las empresas DHL y Bosch en tareas de logística para trabajos repetitivos.

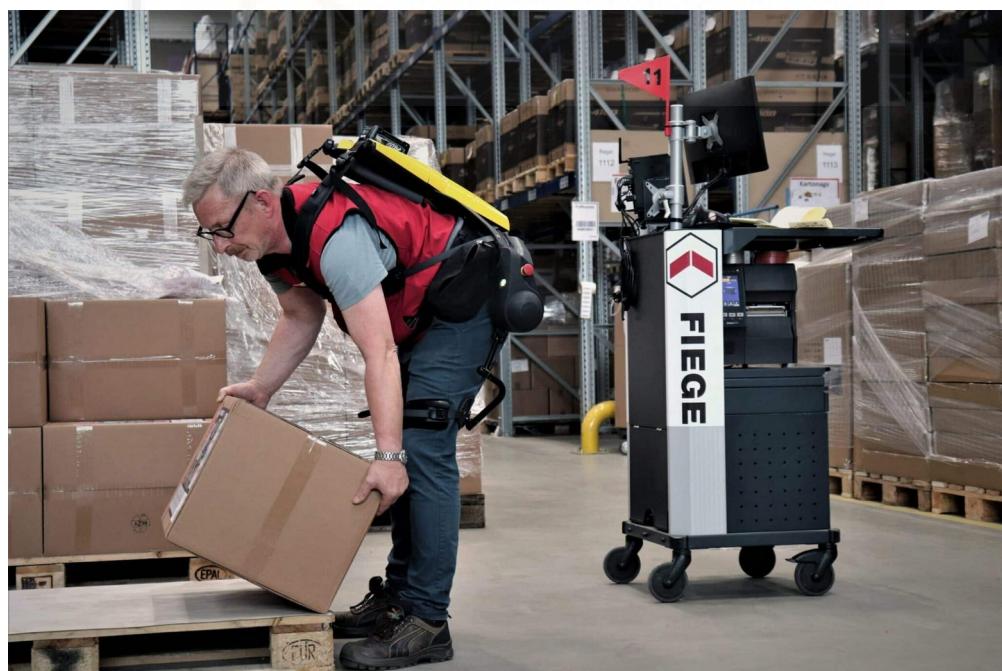


Figura 35: Exoesqueleto German Bionic Cray X.

Con estos sistemas han logrado aumentar la producción hasta un 20% en personas de avanzada edad, disminuir entre el 20 – 30% de las bajas laborales en las personas cercanas a la edad de jubilación y prolongar la mano de obra durante más tiempo aumentando la edad de jubilación.

Actualmente EEUU pretende copiar a estos países e implementar los mismos sistemas y procedimientos para aplicarlos en trabajadores de mayor edad y probarlo en empresas como Walmart.

Recientemente se ha dado a conocer un proyecto denominado GUDEX, el cual surge de la unión entre la empresa Cyber Human Systems y el ministerio de defensa, con el objetivo de desarrollar un exoesqueleto de cuerpo entero para el ámbito militar que sea capaz de reducir la fatiga muscular hasta un 50% y que cuente con la suficiente flexibilidad, modularidad e inteligencia para ser utilizado en diferentes actividades, con el objetivo de aumentar las habilidades físicas de los usuarios.

Este exoesqueleto español aún está en desarrollo, en colaboración con otras entidades españolas como CEIT y FECSA, por lo que hay que esperar para poder verlo operativo, ya que la previsión es que para el año 2035 pueda estar listo para utilizarse.



Figura 36: Proyecto GUDEX.

Conclusiones

Como se ha podido comprobar, en los últimos años ha crecido considerablemente el interés por el uso de los exoesqueletos en prevención de riesgos laborales, ya que favorecen una mejor ergonomía durante las distintas actividades laborales en las que se implantan.

En estudios recientes relacionados con el uso de estos dispositivos en distintos sectores refleja que se reducen los trastornos musculoesqueléticos. Las tareas en las que se suelen emplear este tipo de dispositivos son las relacionadas con manejo manual de cargas pesadas, tareas repetitivas, posturas mantenidas y/o estáticas.

El empleo de estos dispositivos permite reducir la fatiga física de los usuarios, lo que permite realizar las tareas de manera fluida, reduciendo las bajas laborales por trastornos musculoesqueléticos, y, por ende, mejorando la producción final.

Además, colectivos como personas mayores, cercanas a la edad de jubilación o personas con restricciones médicas podrían verse beneficiadas de la implantación de los exoesqueletos en el entorno laboral, ya que podrían serles de ayuda para que volvieran a desempeñar sus actividades laborales.

A raíz de esto último, algunos países se plantean la posibilidad de alargar la edad de jubilación, aunque son pocos los estudios realizados relacionados con este tema.

Aunque no todo es idílico, realmente se obtienen beneficios por el empleo de exoesqueletos en el entorno laboral pero siempre que estos dispositivos sean utilizados correctamente y se ajusten adecuadamente al usuario, ya que si no es así se pueden presentar nuevos riesgos laborales que desde los servicios de prevención de riesgos laborales deberán tener en cuenta y plantear las medidas preventivas necesarias para prevenirlos.

Una limitación que puede presentarse es la falta de aceptación de estos dispositivos entre los trabajadores, por lo que en estos casos es conveniente proporcionarles toda la información necesaria relativa a estos dispositivos, además de proporcionarles la formación específica necesaria para un uso adecuado del dispositivo. La aceptación por parte de los trabajadores de estos dispositivos permitirá su implantación en el entorno laboral de manera satisfactoria. Un punto importante a considerar es la facilidad con la que el usuario sea capaz de colocárselo y quitárselo, que no sea necesaria la ayuda de otra persona para ello, que no retrase al usuario en su jornada si se requieren cambios de actividades o, algo muy importante a tener en cuenta, que en situaciones de emergencia el usuario sea capaz de desprenderse rápidamente del exoesqueleto. También se debe intentar adquirir dispositivos

que estén fabricados con materiales menos pesados, de manera que permitan una mejor movilidad y no supongan un excesivo peso extra para el usuario que lo porta.

Cuando se plantea la posibilidad del uso de un exoesqueleto en un puesto de trabajo es recomendable realizar una evaluación completa de las características del puesto de trabajo y de las necesidades reales de su implantación en el entorno laboral. Además de valorar las características de los usuarios. En estos casos, si se decide finalmente apostar por la implantación de un exoesqueleto en un puesto laboral es muy importante respetar los períodos de adaptación, así como la formación que deben recibir los usuarios de dichos dispositivos, de esta manera se podría lograr una implantación exitosa.

Otro de los principales inconvenientes que pueden presentarse para la implantación de estos dispositivos en el entorno laboral es el elevado coste económico que supone, no solo la compra, sino también el mantenimiento de los exoesqueletos. No todas las empresas tienen intención u oportunidad para llevar a cabo proyectos de esta envergadura.

Puesto que se pueden encontrar diferentes tipos de exoesqueletos destinados a distintos usos, se observó que no existe una normativa unificada que rija el uso de estos dispositivos. Por ello se deben tener en consideración diferentes normativas según el uso al que vaya destinado el exoesqueleto.

También se ha observado que a pesar del gran número de publicaciones que mencionan los beneficios o inconvenientes del uso de los exoesqueletos no son tan numerosos los estudios que exponen experiencias reales, ya que los ensayos realizados en laboratorio (donde los ambientes están más controlados, sin tiempos, sin cambios de actividades, etc.) no son similares a la implantación de estos dispositivos en entornos reales (con ritmos de trabajo establecidos, mínimos de producción, obstáculos, desplazamientos, etc.)

Además, la mayoría de las publicaciones revisadas son relativamente recientes, por lo que no es posible saber cómo resultarán de beneficiosos estos exoesqueletos, o los inconvenientes que puedan presentar, a lo largo del tiempo y con un uso prolongado.

Bibliografía

1 – MORANO MUÑOZ, Miguel Ángel. *Introducción a los aspectos ergonómicos y a otros factores de riesgo derivados del uso de robots, exoesqueletos y drones*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P., mayo de 2023. NIPO: 118-23-012-0. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/375206/Folleto+Introducción+los+aspectos+ergonómicos+y+a+otros+factores+de+riesgos+derivados+del+uso+de+robots+exoesqueletos+y+drones+2023.pdf/7d3007cd-c68c-096e-b59b-5c3632fa1307?t=1686556816558> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

2 – Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OHSA). *Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y la salud en el trabajo*. Bilbao: EU-OHSA, 2019. Disponible en: https://osha.europa.eu/sites/default/files/Exoskeletons%26OSH_ES.pdf [Consulta el 20 de marzo de 2025].

3 – MORANO MUÑOZ, Miguel Ángel. *Exoesqueletos: características, riesgos y medidas preventivas*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P., 2023. NIPO: 118-23-042-6. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/375202/Exoesqueletos+características+riesgos+y+medidas+preventivas+2023.pdf/b924367c-983a-c897-b58b-d38258350887?t=1697699648465> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

4 - Organización Mundial de la Salud (OMS). *Trastornos musculoesqueléticos*. Ginebra: OMS, 8 de febrero de 2021. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

5 – Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OHSA). *Trastornos musculoesqueléticos*. Bilbao: EU-OHSA. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

6 – Junta de Castilla y León. *Trastornos musculoesqueléticos*. Valladolid: Junta de Castilla y León. Disponible en: <https://trabajoyprevencion.jcyl.es/web/es/prevencion-riesgos-laborales/trastornos-musculoesqueléticos.html> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

7 – Mutua Universal. *Ergonomía 4.0 y exoesqueletos: mitos, leyendas y certezas*. Barcelona: Mutua Universal, 2020. Disponible en: <https://www.sesst.org/wp-content/uploads/2020/11/ergonomía-4.0.pdf> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

8 – Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). *Tema 1. Ergonomía: conceptos y objetivos. Metodología ergonómica. Modelos y métodos aplicables en* Egea Alcaraz, Lidia 49

ergonomía. *Procedimiento metodológico para la evaluación de riesgos en ergonomía*. Madrid: INSST, abril de 2025. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/4155701/Tema%201.%20Ergonom%C3%ADa.pdf> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

9 – Predictiva21. *Ergonomía 4.0 en la nueva revolución industrial*. Predictiva21, 7 de agosto de 2023. Disponible en: <https://predictiva21.com/ergonomia> [Consulta el 20 de marzo de 2025].

10 – España. *Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales*. Boletín Oficial del Estado, núm. 269, 10 de noviembre de 1995. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292> [Consulta el 2 de abril de 2025].

11 - España. *Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo*. Boletín Oficial del Estado, núm. 188, 7 de agosto de 1997. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-17824> [Consulta el 2 de abril de 2025].

12 - Unión Europea. *Reglamento (UE) 2017/745 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2017, sobre los productos sanitarios, por el que se modifican la Directiva 2001/83/CE, el Reglamento (CE) nº. 178/2002 y el Reglamento (CE) nº. 1223/2009 y por el que se derogan las Directivas 90/385/CEE y 93/42/CEE del Consejo*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 117, 5 de mayo de 2017, pp. 1 – 175. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2017-80916> [Consulta el 2 de abril de 2025].

13 - Unión Europea. *Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición)*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 157, 9 de junio de 2006, pp. 24-86. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2006-81063> [Consulta el 2 de abril de 2025].

14 - España. *Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas*. Boletín Oficial del Estado, núm. 246, 11 de octubre de 2008, pp. 40995-41030. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-16387> [Consulta el 2 de abril de 2025].

15 - Asociación Española de Normalización (UNE). *UNE-EN ISO 10218-1:2012. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots (ISO 10218-1:2011)*. Madrid: UNE, 2012. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049289> [Consulta el 2 de abril de 2025].

16 - Asociación Española de Normalización (UNE). *UNE-EN ISO 13482:2014. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots no industriales. Robots de asistencia personal no médicos (ISO 13482:2014)*. Madrid: UNE, 29 de julio de 2014. Egea Alcaraz, Lidia

Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0053216> [Consulta el 2 de abril de 2025].

17 - Unión Europea. *Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 81, 31 de marzo de 2016, pp. 51-98. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2016-80531> [Consulta el 2 de abril de 2025].

18 - Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana (FEMEVAL). *Guía de exoesqueletos en prevención de riesgos laborales*. Valencia: FEMEVAL, 2019. Disponible en: <https://www.femeval.es/dam/jcr:57e9814c-7825-4db7-b4d9-1b3ba12ce75d/GUIA-EXOESQUELETOS.pdf> [Consulta el 23 de mayo de 2025].

