

# **EXOESQUELETOS**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

### **MÁSTER EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO: PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

# **LOS EXOESQUELETOS Y SUS FUNCIONALIDADES EN LA SOCIEDAD**

**EDUARD ESTEVES LORENZO**



## **Resumen**

Los Trastornos Musculoesqueléticos (TME) representan una de las principales causas de baja laboral en el territorio Europeo, son alteraciones que sufren las partes corporales como articulaciones, músculos y/o ligamentos, causadas por el trabajo o por los efectos y condiciones derivados del entorno laboral. El presente trabajo se centra en los Exoesqueletos, aquél sistema ergonómico de tipo mecánico-textil que se incorpora de forma corporal para realizar ciertas tareas, en este caso laborales, aportando una redistribución del peso o un suplemento de fuerza que permite reducir la exigencia física de actividades que pueden conllevar riesgo a sufrir TME provocados por posturas forzadas, sobreesfuerzos y/o levantamientos de carga.

El ámbito de estudio del presente trabajo se centra en los exoesqueletos y sus distintas funcionalidades en el ámbito laboral y en especial interés en el sector industrial y sanitario. Por un lado, incide en los efectos en las organizaciones y en el ámbito de la prevención de riesgos laborales así como en los riesgos inherentes al uso de dichas estructuras y las medidas preventivas a aplicar. Por otro lado, describe los beneficios de su uso en el ámbito sanitario en pacientes con algún tipo de discapacidad motriz o movilidad reducida, personas que muestran una importante disminución de movimiento y/o personal sanitario como médicos o cirujanos.

El objetivo principal es demostrar los beneficios que pueden aportar a la empresa reduciendo la exposición a sobreesfuerzos o posturas forzadas, mostrando ejemplos de multinacionales, industrias de automoción y hospitales que han incorporado los exoesqueletos en sus organizaciones con grandes resultados en cuanto a seguridad y salud laboral. Se muestran las distintas ventajas y desventajas de su utilización teniendo como protagonista al trabajador, salvaguardando su salud y reduciendo la exposición a ciertos riesgos laborales pero asegurando también el correcto funcionamiento de la empresa o centro sanitario. Cada vez son más las entidades que deciden utilizar el exoesqueleto como herramienta de trabajo, empresas como Ford, Iveco o Ikea ya disponen de estas estructuras ergonómicas en su cadena de producción y con el paso del tiempo y gracias a la evolución de la tecnología, crecen las organizaciones dedicadas al diseño, desarrollo y comercialización de exoesqueletos.

## Índice

1. Introducción.....	6
2. Concepto exoesqueleto.....	7
2.1. Historia.....	8
2.2. Normativa aplicable.....	13
3. Clasificaciones de exoesqueleto.....	13
3.1. Exoesqueleto activo y pasivo.....	14
3.2. Exoesqueleto parte superior, inferior, espalda y cuerpo entero.....	14
3.3. Exoesqueleto según movilidad.....	16
4. Ámbitos de aplicación.....	16
5. Utilidad y funcionalidades en el ámbito laboral e industrial.....	18
5.1. Coste.....	25
5.2. Ventajas y desventajas derivadas de su uso.....	26
5.3. Limitaciones.....	29
6. Implantación en la organización y PRL.....	30
6.1. Riesgos laborales derivados del uso de los exoesqueletos.....	36
6.2. Medidas preventivas a aplicar.....	37
7. Utilidad y funcionalidades en el ámbito sanitario.....	39
7.1. Uso en hospitales.....	41
7.2. Discapacidad y movilidad reducida.....	43
8. Conclusiones.....	47
9. Bibliografía/Webgrafía.....	49

## **Glosario**

Industria 4.0: También llamada Cuarta Revolución Industrial, consiste en aquella que utiliza técnicas, procedimientos y métodos de producción basados en las tecnologías inteligentes, integrados en las organizaciones, sistemas, personas y activos.

Trabajadores 4.0: Son aquellos empleados que utilizan las tecnologías en su jornada laboral con el fin de mejorar las tareas o procesos que deben desarrollar en el puesto de trabajo.

Equipo o dispositivo wearable: Se trata de aquel dispositivo que se puede llevar acoplado a la vestimenta o usado corporalmente el cual se puede conectar a un equipo externo y sincronizar datos para su posterior análisis. Un claro ejemplo puede ser cualquier tipo de reloj deportivo el cual mide pulsaciones, recorrido, velocidad, presión arterial, entre otros.

FEMEVAL: Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana.

Biónica: La biónica es un concepto que se identifica como el diseño o producción de órganos artificiales a través de sistemas mecánicos y electrónicos que intentan imitar el funcionamiento normal de los órganos naturales.

TME: Los TME o Trastornos Músculo Esqueléticos son alteraciones que sufren las partes corporales como las articulaciones, músculos, ligamentos, etc., causadas por el trabajo y/o por los efectos o condiciones inherentes al entorno laboral.

PRL: Prevención de Riesgos Laborales.

## **Prefacio**

La motivación en la realización del presente trabajo se basa en el interés de estudiar y desarrollar un tema innovador, tecnológico y directamente relacionado con la Ergonomía. Los exoesqueletos representan en cierta parte la evolución tecnológica y los grandes avances de la sociedad en ámbitos organizativos, productivos y sanitarios, las labores en investigación, desarrollo e innovación mejoran la calidad de vida de las personas.

## 1. Introducción

La sociedad actual se encuentra en constantes cambios políticos, sociales, económicos y, en especial interés para el presente trabajo, laborales e industriales. Es aquí dónde el ser humano muestra su capacidad de adaptación adoptando nuevas formas de producción, comercialización e innovación.

Durante la primera revolución industrial aparece la energía hidráulica, la energía eléctrica y la mecanización, seguidamente y durante la segunda revolución, la electricidad, las líneas de montaje y la producción en masa toman protagonismo. Con el paso de los años y gracias a la evolución tecnológica, la industria se caracteriza por la automatización y el uso de la informática permitiendo grandes avances en los procesos productivos. En la actualidad, el mundo se encuentra inmerso en la cuarta revolución industrial o también llamada “Industria 4.0” marcada por la transformación digital y la tecnología.

Las tecnologías se encuentran cada vez más presentes en la vida cotidiana y de la misma forma se busca una industria totalmente inteligente, intercomunicada y dentro de un entorno digital y automatizado. No obstante, el ser humano sigue siendo una pieza muy importante dentro de esta cuarta revolución industrial y por tanto aparece el concepto de “Trabajador 4.0” el cual utiliza la tecnología en gran parte de su jornada laboral (Ana Elvira, José A. Tomás, María Ducun, 2020). Cabe destacar que, gracias a la tecnología y a su adopción en el mundo laboral, muchas empresas han podido realizar teletrabajo en época de pandemia, evitando así la paralización comercial.

Dado que la industria y los procesos productivos se adaptan a dicha cuarta revolución industrial consecuentemente se producen cambios en el ámbito de la Prevención de Riesgos Laborales la cual busca una prevención híbrida centrada en el trabajador pero prestando gran atención a las tecnologías que rodean su entorno de trabajo adaptando el mismo y garantizando un trabajo seguro y eficiente.

En ergonomía se busca una adaptación total entre el ser humano como trabajador y la tecnología y la digitalización como equipo de trabajo introduciendo el concepto de “Ergonomía 4.0”. Aparecen los *equipos wearables*<sup>1</sup> los cuales permiten conectar al trabajador con el

---

<sup>1</sup> Son aquellos dispositivos inteligentes que se pueden incorporar a la actividad humana o a la vestimenta permitiendo interacción con la tecnología, teléfonos móviles u otros aparatos electrónicos.

entorno tecnológico siguiendo los principios ergonómicos y buscando un trabajo ágil, seguro y versátil.

De esta manera se introduce el concepto base del presente trabajo final de máster, los exoesqueletos. Es importante conocer su origen, su diseño, sus funcionalidades, así como sus ventajas y desventajas para la sociedad actual, más concretamente para el mundo laboral.

Los exoesqueletos buscan mejorar el trabajo de los distintos usuarios o empleados y su objetivo principal es ayudar a los trabajadores a desarrollar sus tareas reduciendo los riesgos musculoesqueléticos y de la misma forma agilizar las tareas mejorando los procesos productivos. Cabe destacar que es una innovación tecnológica en proceso de adaptación y que por tanto aún se estudia qué otros riesgos puede conllevar al uso de la tecnología o del propio exoesqueleto, los cuales se verán expuestos en el presente trabajo.

El alcance del presente trabajo tiene lugar en el sector laboral pero también en el sector sanitario, mostrando las distintas funcionalidades de los exoesqueletos en ambos ámbitos y dónde el principal objetivo es demostrar que el avance tecnológico en este tipo de dispositivos puede mejorar la calidad de vida de los trabajadores y de los pacientes sanitarios.

## **2. Concepto exoesqueleto**

Por un lado y desde una perspectiva literal, un exoesqueleto o dermoesqueleto es conocido como el caparazón que cubre de manera externa el cuerpo de los artrópodos (insectos, arácnidos y demás relacionados) y el cual tiene funciones mecánicas, de protección, de respiración y de sostén del cuerpo del artrópodo.

Por otro lado y desde una perspectiva general, el exoesqueleto puede definirse como "*aquel sistema o dispositivo de ayuda personal que afecta al cuerpo de manera mecánica*" (Liedtke y Glitsch, 2018). Se trata de un dispositivo que gracias a la mecánica, la tecnología, la robótica y conectado completamente con el usuario ayuda al mismo a realizar ciertas tareas.

En el documento sobre Exoesqueletos en Prevención de Riesgos Laborales de la FEMEVAL<sup>2</sup> se definen como:

---

<sup>2</sup> La FEMEVAL es la Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana, una organización sin ánimo de lucro que representa a las empresas del sector del metal de Valencia.



*“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 aumento de sus capacidades motrices. De esta manera permite un incremento de la fuerza y/o asistencia en los movimientos”.* (FEMEVAL, 2019).

Se podría definir como una estructura externa o un sistema, dispositivo y/o tecnología portátil, es decir, que puede portar una persona integrada en su cuerpo y que le proporciona una fuerza o esfuerzo extra para poder realizar movimientos y tareas complicadas físicamente hablando o mejorar posturas forzadas y capacidades fisiológicas. Es utilizado en el ámbito laboral, industrial, sanitario o incluso militar y hay que destacar que dado a que su uso es totalmente personal debe adaptarse a la fisiología y morfología del usuario.

En cuanto a su funcionamiento, esta estructura mecánica externa e integrada al cuerpo se acciona o impulsa por un sistema de motores, normalmente eléctricos o hidráulicos, los cuales proporcionan energía suficiente para realizar movimiento y fuerza en nuestras extremidades. Este movimiento no sólo tiene lugar gracias a los motores, sino que el exoesqueleto se encuentra dotado con sensores biométricos<sup>3</sup> los cuales detectan las señales nerviosas que el cerebro humano envía a los músculos para accionar el movimiento. Los exoesqueletos se mueven a la vez que las extremidades gracias a estos sensores biométricos, siempre que el usuario mueva la pierna, la mano, el brazo u otra parte del cuerpo también se moverá esa zona del exoesqueleto.

## **2.1. Historia**

Aunque los exoesqueletos tienen más importancia en la actualidad debido a los avances tecnológicos y a la aparición de la Industria 4.0, el origen de estas estructuras externas tiene lugar a finales del siglo XIX. En 1890, un ingeniero Ruso llamado Nicholas Yagn<sup>4</sup> presentó la primera patente de exoesqueleto la cual estaba diseñada para prestar ayuda al movimiento humano a través de la energía humana. En la imagen 1 se puede observar un boceto de la patente presentada por Nicholas Yagn dónde se describe como un “aparato para facilitar el movimiento de caminar, correr y/o saltar”.

---

<sup>3</sup> Los sensores biométricos son aquellos sensores que transforman los aspectos o rasgos físicos de una persona en una señal eléctrica.

<sup>4</sup> Nicholas Yagn fue un ingeniero de origen ruso que diseñó el primer dispositivo para ayudar al movimiento humano.

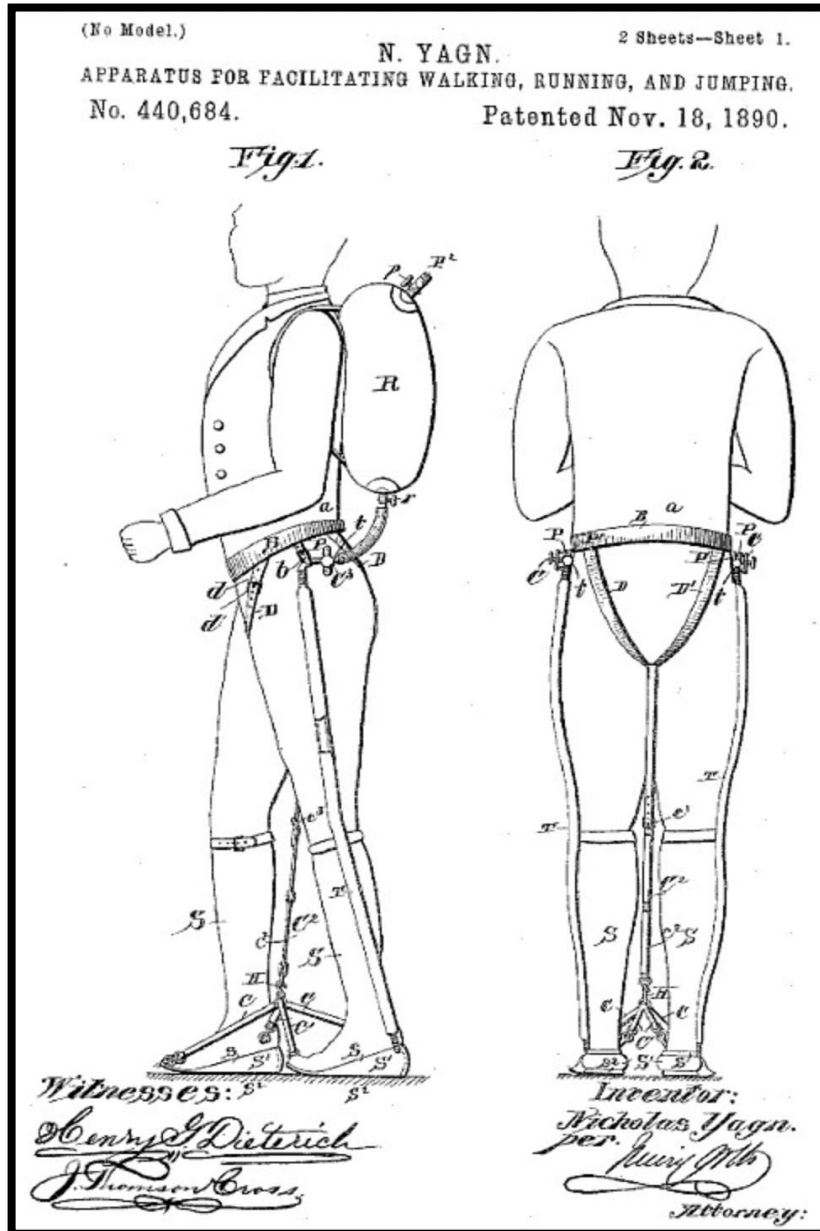


Imagen 1: Boceto patente del exoesqueleto de Nicholas Yagn (Fuente: FPO, Patents Online, United States Patent 6666796, 2003)

Pocos años más tarde, entre 1917 y 1919 un ingeniero e inventor estadounidense llamado Leslie C. Kelley desarrolló una especie de exoesqueleto al que él mismo denominó podómetro. Este aparato además de utilizar la energía humana al igual que el modelo mencionado anteriormente, combinaba ésta con la energía a vapor la cual accionaba unos elementos artificiales en coordinación con los movimientos del usuario. En la imagen 2 se

observa un boceto similar al representado en la figura 1 pero muestra el aparato diseñado por el inventor Leslie C. Kelley.

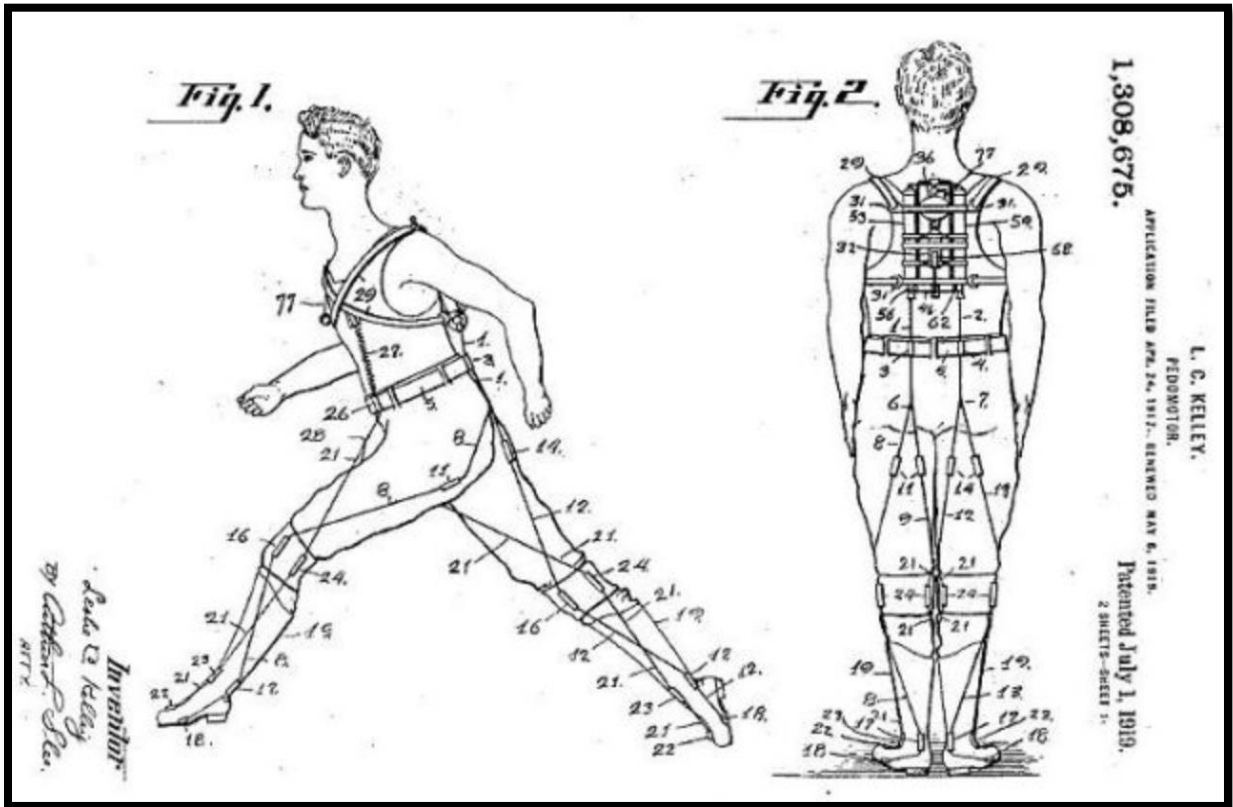


Imagen 2: Boceto patente del exoesqueleto de Leslei C. Kelley (Fuente: FPO, Patents Online, United States Patent 1308675, 2003)

La aparición más mediática de los exoesqueletos con la cual fueron conocidos de manera internacional fue en los años 1960 gracias a General Electric<sup>5</sup> y las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos. Crearon un exoesqueleto llamado Hardiman el cual funcionaba gracias a la energía hidráulica y eléctrica, dicho aparato tenía el objetivo de aumentar la fuerza del usuario y reducir la fatiga muscular. Cabe destacar que dicho proyecto tuvo algunas limitaciones las cuales provocaron que no tuviera éxito, principalmente se trataba de un aparato muy pesado, de unos 690 kilogramos, hecho que limitaba la capacidad de movimiento y velocidad. Además, se notificaron incidentes relacionados con movimientos peligrosos del Hardiman. En la imagen 3 se puede observar el prototipo creado por General Electric.

<sup>5</sup> General Electric es una empresa multinacional fundada en el año 1882 con sede actual en Boston, Massachusetts. Tiene actividad en sectores como el de la electricidad, ingeniería industrial, automoción y/o servicios de aviación.



Imagen 3: Prototipo exoesqueleto de General Electric (Fuente: Diseño y co-simulación de un exoesqueleto, UAEH, 2020)

A partir de ese momento, fueron numerosas las innovaciones en el ámbito de los exoesqueletos y sobre su uso ortopédico, Miomir Vukobratovic<sup>6</sup> desarrolló los primeros exoesqueletos diseñados para ayudar en la rehabilitación de pacientes con problemas parapléjicos. Durante el siglo XXI y gracias a la innovación tecnológica, aparecen muchos más diseños de exoesqueletos centrados en la medicina, se destaca el exoesqueleto eLEGS (Exoskeleton Lower Extremity Gait System) el cual se puede observar en la imagen 4 y funciona con sistemas hidráulicos que permiten caminar con la ayuda de muletas. Por último pero no menos importante, merece especial mención el exoesqueleto desarrollado en 2002 por Yoshiyuki Sankai<sup>7</sup> con el principal objetivo de ayudar a personas de edad avanzada y/o personas con ciertas discapacidades permitiéndoles realizar movimientos antes imposibles o bien multiplicar la fuerza. Este prototipo llamado exoesqueleto HAL (Hybrid Assisting Limb) se

---

<sup>6</sup> Miomir Vukobratovic fue un ingeniero nacido en Serbia en 1931 especializado en la mecánica y amante de los robots humanoides.

<sup>7</sup> Yoshiyuki Sankai es un investigador de la Universidad de Tsukuba en Japón especializado en robótica y fundador de la empresa Cyberdyne.

puede observar en la imagen 5 y se caracteriza por utilizar elementos de robótica, electrónica y biónica.



Imagen 4: eLEGS Exoskeleton (Fuente: Diseño y co-simulación de un exoesqueleto, UAEH, 2020)



Imagen 5: Exoesqueleto HAL (Fuente: Diseño y co-simulación de un exoesqueleto, UAEH, 2020)

## **2.2. Normativa aplicable**

Tal y como se puede observar hasta el momento, los exoesqueletos pueden tener funcionalidades en distintos ámbitos ya sea en el sector industrial, laboral, sanitario y/o militar. Debido a este aspecto y a las distintas características que identifican los sectores mencionados, no existe hasta el momento, una normativa, regulación o certificación que englobe el conjunto de los exoesqueletos de manera uniforme. Para ello, se identifican distintas regulaciones o certificaciones que pueden ser de aplicación en los distintos ámbitos de los exoesqueletos:

En primer lugar, el exoesqueleto se puede identificar como un aparato o dispositivo técnico que tiene la función de dar soporte, ya sea de forma física o mecánica, a las tareas del trabajador como resultado de las disposiciones de la Directiva 2006/42/CE del parlamento Europeo y del Consejo relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE. En segundo lugar, el exoesqueleto puede definirse también como un Equipo de Protección Individual (EPI) con el objetivo de ayudar al trabajador a prevenir los riesgos derivados de sobrecargas físicas, posturas forzadas y evitar daños y/o lesiones laborales según la Directiva 89/686/CEE.

En tercer lugar, si el exoesqueleto está dotado de elementos robóticos cabe destacar la Regulación Internacional sobre robots, dispositivos robóticos y requisitos de seguridad ISO 10218-1:2011.

En cuarto y último lugar, si un exoesqueleto tiene fines ortopédicos o de rehabilitación, de acuerdo con la Directiva 93/42/CEE, debe respetar y cumplir con unos requisitos de seguridad específicos.

## **3. Clasificaciones de exoesqueletos**

Los exoesqueletos pueden ser utilizados para varios fines tal y como se podrá observar durante el presente trabajo aunque hay que destacar que tienen varias tipologías o clasificaciones. Cada clasificación corresponde a unas características o requisitos que debe presentar el exoesqueleto y las cuales buscan una adaptación total al ámbito de aplicación. En este caso se destaca la clasificación según la parte del cuerpo con la que interactúa ya sea cuerpo entero, espalda, zona superior o zona inferior. También se tiene en cuenta la



fuentes de alimentación utilizadas ya sea pasiva o activa, y según su movilidad dónde el exoesqueleto puede ser fijo, móvil o soportado.

### **3.1. Exoesqueleto activo o pasivo**

- Exoesqueleto activo: Son aquellas estructuras que necesitan de una fuente de alimentación externa para su funcionamiento, estas estructuras utilizan un cable conectado a una fuente de alimentación o bien una batería para poder accionar los motores eléctricos que lo conforman. Esta fuente de alimentación permite que se activen los sensores que componen el exoesqueleto y hay que destacar que, dentro de los exoesqueletos activos se encuentran los que contienen elementos robotizados o robóticos los cuales funcionan gracias a la energía eléctrica o bien a sistemas hidráulicos. Los exoesqueletos activos suelen ser utilizados para que el usuario pueda realizar aquellas tareas que requieren una fuerza o energía adicional sin sufrir consecuencias físicas negativas.
- Exoesqueleto pasivo: Se trata de aquel tipo de exoesqueleto que no necesita una fuente de alimentación externa para su funcionamiento. En este caso, el objetivo no es aportar una fuerza adicional al usuario, sino que busca una redistribución del esfuerzo a realizar a través de elementos y movimientos mecánicos producidos por bisagras y/o amortiguadores, entre otros. Los exoesqueletos pasivos suelen ser utilizados para reducir la fatiga muscular, los sobreesfuerzos y el riesgo de lesión redistribuyendo la fuerza que debe hacer el músculo principal a otras zonas del cuerpo más potentes.

Por ejemplo, en ciertas tareas donde el usuario debe ejercer un gran esfuerzo en la zona lumbar, el exoesqueleto pasivo redistribuye la fuerza empleada hacia otras partes del cuerpo para que ésta se vea menos afectada.

### **3.2. Exoesqueleto de parte superior, inferior, espalda y cuerpo entero**

- Exoesqueletos de parte superior: Son aquellos que interactúan con las extremidades superiores del cuerpo como los brazos, las manos e incluso las muñecas. Utilizan estructuras mecánicas fijas para conseguir la redistribución del esfuerzo o de las fuerzas empleadas en la parte superior. En el caso de los exoesqueletos para brazos, se redistribuye la fuerza o el esfuerzo empleado hacia otras partes del cuerpo más

potentes como la espalda o la cadera para que éstas soporten una carga adicional y consecuentemente los brazos se ven menos afectados en cuanto a carga física. En el caso de exoesqueletos para manos, suelen ser de tipo activos ya que permiten una fuerza extra a la hora de abrir o cerrar la mano.

- **Exoesqueletos de parte inferior:** Son aquellos que interactúan con las extremidades inferiores del cuerpo humano como las piernas, las rodillas, las caderas o incluso los tobillos. Los exoesqueletos para piernas son los más comunes en el caso de estructuras de parte inferior, éstos ayudan al usuario a mantener una postura de pie-sentada o semisentada consiguiendo que las piernas no ejerzan todo el esfuerzo físico y descargando la zona lumbar.
- **Exoesqueleto para espalda:** En este caso el exoesqueleto se centra en proteger al usuario de posturas forzadas, reduciendo la tensión y manteniendo la espalda en una correcta posición gracias a redistribuir la fuerza o esfuerzo ejercido en la zona de la espalda hacia otras zonas del cuerpo cuyos músculos pueden soportar mayores cargas o bien otras zonas que, en el caso particular de la tarea a realizar, no requieren de un gran esfuerzo físico.
- **Exoesqueleto de cuerpo entero:** Son aquellos exoesqueletos que cubren tanto la parte superior del cuerpo como la inferior, incluyendo la espalda. Estos exoesqueletos, a diferencia de los mencionados anteriormente, se centran en una redistribución total del esfuerzo consiguiendo que el usuario realice la actividad de manera saludable ergonómicamente hablando, reduciendo las posturas forzadas, las cargas a emplear o ciertos movimientos que pueden provocar trastornos musculoesqueléticos de origen laboral (TME)<sup>8</sup>.



Imagen 6: Exoesqueletos según parte del cuerpo (FEMEVAL, 2019).

---

<sup>8</sup> Los TME de origen laboral son: “alteraciones que sufren las estructuras corporales del cuerpo como las articulaciones, tendones, músculos, ligamentos, etc., causadas por el trabajo y/o los efectos del entorno laboral”.



### 3.3. Exoesqueleto según movilidad

- **Exoesqueleto fijo:** Como el propio nombre indica, se trata de aquel exoesqueleto que se encuentra fijo a un soporte o fijado gracias a una pared, incluso puede estar suspendido en el aire a través de un gancho. Este tipo de exoesqueleto suele utilizarse cuando el usuario debe realizar su tarea siempre en el mismo lugar de trabajo.
- **Exoesqueleto soportado:** Este tipo de estructura suele utilizarse cuando las baterías o los sistemas eléctricos e hidráulicos del exoesqueleto deben soportarse de manera externa mientras que el usuario puede seguir teniendo una total movilidad del mismo.
- **Exoesqueleto móvil:** Este tipo de exoesqueleto es el más dinámico y por tanto es también el más utilizado ya que permite una movilidad total del usuario y del propio exoesqueleto, es decir, permite realizar diferentes tareas en distintos lugares de trabajo.

Cabe destacar que, tal y como se ha mencionado, los exoesqueletos móviles son los más utilizados debido a su versatilidad en comparación con los exoesqueletos soportados o fijos.



Imagen 7: Exoesqueletos según su movilidad (FEMEVAL, 2019).

### 4. Ámbitos de aplicación

Los exoesqueletos son capaces de aportar ventajas en distintos ámbitos los cuales requieren de una medida o ayuda para realizar ciertas tareas de manera correcta y segura, los principales ámbitos de aplicación de los exoesqueletos son el laboral/industrial, médico/sanitario y militar.

En primer lugar y en especial atención para el presente trabajo, los exoesqueletos se utilizan en el ámbito industrial y laboral para permitir a los trabajadores realizar posturas que pueden

ser a priori forzadas, levantar cargas o realizar ciertos movimientos que pueden ser perjudiciales para su salud y para la de sus compañeros, es decir, su objetivo es prevenir sobreesfuerzos y minimizar la fatiga. Estas estructuras pueden ser de gran ayuda como apoyo físico en tareas como la manipulación y transporte de cargas o el hecho de adoptar posturas donde los brazos se mantienen por encima de los hombros.

Las aplicaciones o funcionalidades de los exoesqueletos en el ámbito laboral se verán expuestas con mayor claridad en el siguiente punto aunque, cabe destacar que se utilizan en líneas de montaje de carácter industrial, automoción, agrícola, metalúrgica o construcción, entre otros, ya que se realizan tareas que requieren posturas forzadas o el manejo de cargas. Además, también se utilizan para trabajar en una posición semisentada o de pie-sentado, garantizando una correcta circulación de la sangre y del retorno intravenoso en aquellos trabajos más sedentarios.

Cabe destacar que, dentro de la prevención de riesgos laborales y la ergonomía, el principal objetivo de los exoesqueletos en el ámbito laboral es reducir o prevenir los trastornos musculoesqueléticos (TME) proporcionando una menor exigencia física para el trabajador.

En segundo lugar, los exoesqueletos también son utilizados para fines médicos o de rehabilitación permitiendo la movilidad a aquellas personas con una discapacidad motora<sup>9</sup> y/o de carácter parapléjico las cuales sufren problemas en su capacidad funcional. En este sentido, más adelante se especificará cuáles y cómo estos exoesqueletos están obteniendo grandes avances en el campo de la medicina y están ayudando a miles de pacientes a realizar movimientos antes impensables.

En tercer lugar, tal y como se ha podido observar con la explicación del exoesqueleto HARDIMAN en el apartado de historia, los exoesqueletos también se utilizan en el ámbito militar en tareas de combate o para aportar más seguridad y protección a los trabajadores de las fuerzas armadas.

Son utilizados para la manipulación de elementos explosivos como por ejemplo la desactivación de bombas, uso de armas muy pesadas o incluso transporte de maquinaria.

---

<sup>9</sup> Las discapacidades motoras son aquellas que limitan las habilidades físicas de una persona.

## 5. Utilidad y funcionalidades en el ámbito laboral e industrial

La aplicación más popular de los exoesqueletos se encuentra en el ámbito laboral y más concretamente en el sector industrial. La evolución tecnológica ha conducido a las empresas industriales a innovar en sus procesos productivos con el fin de adaptarse a esta cuarta revolución industrial marcada por la automatización, la digitalización y la tecnología. Con ello, el ámbito laboral, así como la prevención de riesgos laborales y la ergonomía también han sufrido un proceso de innovación, adaptando la tecnología al puesto de trabajo y al entorno del trabajador garantizando un trabajo seguro e innovador.

Los equipos wearables, aquellos dispositivos tecnológicos que se pueden conectar al trabajador incorporándose en la vestimenta o de manera corporal, están ganando protagonismo gracias a su capacidad para adaptarse al trabajador, dando soporte a determinadas tareas y consiguiendo un aumento en la eficiencia del trabajo.

En primer lugar y desde una perspectiva industrial, los exoesqueletos son cada vez más utilizados por industrias de automoción, logística, transporte, metalúrgica o incluso construcción. Cada vez son más las empresas españolas que utilizan estas estructuras incorporadas a los trabajadores para evitar las lesiones de carácter musculoesquelético y dorso-lumbar. Éstas significan una gran parte del total de lesiones laborales en los sectores mencionados debido a la exigencia física que conllevan sus actividades en las que los empleados experimentan sobreesfuerzos, posturas forzadas y/o transporte de cargas pesadas, entre otros. Para ello muchas industrias han incorporado estas estructuras corporales para ayudar a los empleados a realizar sus actividades productivas con total normalidad y de una forma segura ergonómicamente hablando, es habitual el uso de exoesqueletos de parte superior del cuerpo.

A continuación, se describen algunos ejemplos de los exoesqueletos utilizados en España por algunas de las empresas más importantes a nivel nacional e internacional:

- La empresa del país vasco CHS o *Cyber Human Systems*<sup>10</sup> es la principal empresa española que comercializa con exoesqueletos destinados a mejorar la calidad laboral de los trabajadores de la industria. Han diseñado, desarrollado y comercializado un exoesqueleto pasivo llamado “EXOSOFT” de tipo textil que pesa únicamente 800 gramos. Dicha estructura la cual tiene un precio relativamente bajo en este mercado,

---

<sup>10</sup> *Cyber Human Systems* es una empresa o spin off que forma parte del grupo *Gogoa Mobility Robots*, dedicado al desarrollo y comercialización de exoesqueletos para fines de rehabilitación.

750 euros, consigue reducir entre un 20% y 30% el consumo de energía diario de un trabajador, permitiendo total libertad de movimiento para el empleado y aportando un soporte dorso-lumbar. En la entrevista realizada por “InnovaSpain”<sup>11</sup> a Carlos Fernández, CEO de CHS, destaca: *“También disminuye de forma notable el esfuerzo muscular, algo que hemos comprobado con distintos sensores”*. (Carlos Fernández, InnovaSpain, 2021). En la imagen 8 se puede observar dicho exoesqueleto. Cabe destacar que CHS también ha diseñado otros exoesqueletos lumbares como el “ALDAK” o exoesqueletos de brazos como el “BESK”.

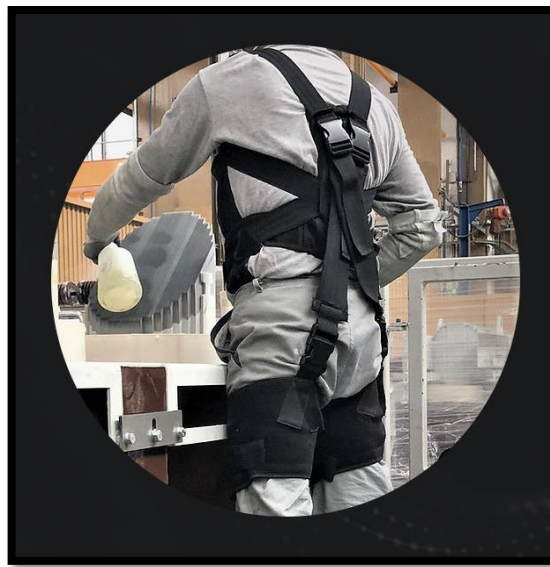


Imagen 8: EXOSOFT de CHS (Fuente: página web Cyber Humans System).

- Ford, la compañía multinacional de automoción dedicada a la fabricación y comercialización de vehículos a motor, también ha adoptado los exoesqueletos en su industria con el fin de evitar o reducir los riesgos musculoesqueléticos derivados del trabajo. En la entrevista realizada a Israel Benavides ergónomo de Ford Europa en la revista digital “Xataka”<sup>12</sup>, afirma: *“Con un exoesqueleto puesto, el trabajador tiene menos posibilidades de lesionarse o tener riesgos ergonómicos. La idea es que el operario realice las mismas actividades y movimientos que hacía antes y sea el exoesqueleto quién se adapte al método de trabajo que ya existe”*. (Israel Benavides, Xataka, 2020).

---

<sup>11</sup> Periódico líder de innovación el cual publica artículos de interés tecnológico.

<sup>12</sup> Revista digital que trata temas de tecnología e innovación.

En la fábrica Ford situada en Almussafes, Valencia se utilizan exoesqueletos de parte superior que permiten a los trabajadores transportar piezas sin generar sobrecargas o sobreesfuerzos, estos exoesqueletos suelen ser de tipo activo. También se utilizan exoesqueletos de parte superior del cuerpo en tareas que comportan mantener los brazos por encima de los hombros como por ejemplo en las actividades mecánicas de la parte inferior del vehículo. En la imagen 9 se puede observar un operario de la fábrica Ford trabajando con el exoesqueleto incorporado.

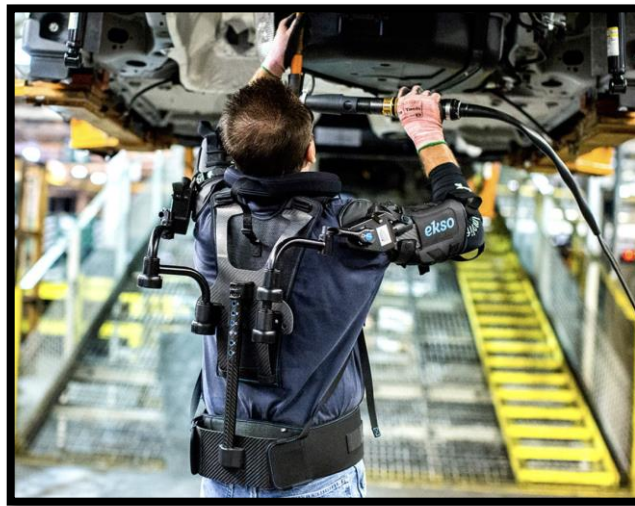


Imagen 9: Operario de Ford con exoesqueleto (Fuente: Xataka, 2020).

- También se utilizan exoesqueletos en empresas de logística o en industrias de fabricación de muebles dónde la manipulación y transporte de mercaderías pesadas es diaria. Un claro ejemplo es la empresa Ikea la cual ha decidido incorporar los exoesqueletos en el centro de trabajo ubicado en Badalona, su objetivo es prevenir o reducir las lesiones de carácter ergonómico de tipo dorso-lumbar o otras lesiones provocadas por exceso de carga. Estas estructuras de 2,5 kilogramos están diseñadas para repartir el esfuerzo del trabajador en una cantidad de 50% entre el usuario y el exoesqueleto.
- Iveco, una multinacional cuya actividad se basa en la fabricación de camiones, camionetas o furgonetas así como piezas para dichos vehículos, ha empezado a utilizar exoesqueletos en sus actividades productivas en dos de sus centros de trabajo ubicados en Madrid y Valladolid. Hay que destacar que al contrario que las últimas empresas mencionadas, Iveco utiliza un exoesqueleto para la parte inferior del cuerpo. Por un lado, analizan los pros y contras del uso de esta tecnología para evaluar su

posible eficiencia en los procesos productivos garantizando un entorno de trabajo seguro. Los exoesqueletos que utilizan en dichos centros de trabajo permiten al operario trabajar de una forma semi-sentada consiguiendo la descarga del peso del cuerpo sobre el exoesqueleto.

En un artículo escrito por Albert Sanchis en la revista digital Xataka, Paula Carulla directora de Comunicación de Iveco afirma: *“Llevamos realizando pruebas con exoesqueletos unos cuatro años y seguimos analizando cómo una plantilla se adapta a su uso y, a la vez, cómo evoluciona la tecnología en estos sistemas”*. (Paula Carulla, Xataka, 2020). En la imagen 10 se observa el exoesqueleto utilizado en la empresa de fabricación de vehículos Iveco.



Imagen 10: Operario de Iveco utilizando un exoesqueleto en su actividad laboral (Fuente: Xataka, 2020).

Los exoesqueletos utilizados en el sector industrial suelen ser estructuras para la parte superior del cuerpo las cuales aportan mayor resistencia, mayor capacidad de carga y protegen la zona dorso-lumbar. Pero también hay que destacar que, como en el caso de Iveco, se utilizan exoesqueletos destinados a la parte inferior del cuerpo, es decir, las piernas. Estas estructuras, las cuales suelen ser de tipo pasivo, permiten que el trabajador realice sus tareas convencionales en una posición de pie-sentado o semisentado. Este tipo de exoesqueletos



es muy utilizado en trabajos sedentarios o trabajos que comportan estar de pie durante mucho tiempo (como en el caso de ciertas industrias o fábricas), hay que destacar que desde una perspectiva ergonómica, un trabajo el cual implique estar constantemente sentado, de pie o bien en la misma posición corporal puede provocar problemas de circulación de la sangre, lesiones corporales, sobrecargas, hipertensión o incluso lumbalgia.

Se destaca que el principal objetivo de los exoesqueletos de parte inferior es distribuir el peso de una forma más equitativa, repartiendo el peso entre el exoesqueleto y el trabajador para que las partes del cuerpo que deben soportar toda la carga se vean menos afectadas. A continuación, se describen algunos de los exoesqueletos de parte inferior más utilizados en el mundo laboral actual:

- “Chairless Chair”: Se trata de un exoesqueleto pasivo de parte inferior diseñado por Sapetti<sup>13</sup> y fabricado por Noonee<sup>14</sup> destinado a trabajadores de fábricas, industrias u otros cuya actividad implica mantener una posición de pie durante un tiempo indeterminado. El principal objetivo del “Chairless Chair” o “Silla sin silla” es ayudar al trabajador dotándolo de un soporte extra para poder descansar su cuerpo y repartir el peso para que la zona dorso lumbar se vea menos afectada. Este exoesqueleto no necesita de ninguna fuente de energía para su funcionamiento, únicamente funciona con elementos mecánicos que se accionan con los movimientos del trabajador y se bloquean cuando el trabajador decide sentarse.

La principal ventaja del presente exoesqueleto es que se puede adaptar a los distintos tamaños de cada persona y que se puede caminar con el exoesqueleto incorporado con total normalidad, esta estructura permite al trabajador realizar sus tareas desde una posición de pie-sentado. Permite una redistribución de, aproximadamente, 65% del peso corporal del trabajador gracias al exoesqueleto. La dirigente del proyecto Katrin Hoffmann afirma que: *“La Chairless Chair puede llevarse durante toda la jornada laboral, ya que no interfiere al caminar o estar de pie. Se adapta a todos los movimientos y los trabajadores pueden pasar de estar de pie a sentarse o caminar en cuestión de segundos”*. (CORDIS, Comisión Europea, 26 Febrero 2021). En la imagen 11 se puede observar el modelo de exoesqueleto “Chairless Chair”.

---

<sup>13</sup> Sapetti se trata de un estudio de diseño industrial que colabora con empresas y demás emprendedores para ayudar a diseñar sus productos e ideas.

<sup>14</sup> Noonee es una empresa de origen alemán cuya actividad se basa en la fabricación y comercialización de exoesqueletos y demás dispositivos mecánicos portátiles.

Cabe destacar que en la actualidad ya está disponible la versión 2.0 del “Chairless Chair” con el cual se ha mejorado la primera versión del exoesqueleto en cuanto a su diseño, adaptabilidad a distintos tamaños corporales y se ha reducido significativamente el peso de la estructura, todo ello conlleva que la nueva versión proporciona un mejor ajuste a las características del trabajador.



Imagen 11: Exoesqueleto Chairless Chair desarrollado por Noonee (Fuente: Página web Noonee, 2021).

- “ArchelisFX”: La empresa o startup Archelis de origen Japonés ha diseñado un exoesqueleto llamado “ArchelisFX”, su nombre en japonés tiene una traducción similar a silla caminante o silla transportable. Este exoesqueleto ha sido diseñado para todo tipo de trabajo cuya actividad requiere estar de pie durante largos periodos de tiempo, anteriormente se ha hablado sobre exoesqueletos enfocados a la industria pero en este caso ArchelisFX se orienta más a médicos, personal de laboratorio, enfermeros, cirujanos o incluso profesores. La estructura de tipo pasiva se fija sobre los gemelos y los muslos del usuario garantizando un soporte de la parte superior del cuerpo y



evitando así sobrecargas musculares en la zona dorso-lumbar. En la imagen 12 se puede observar dicho exoesqueleto.

Tal y como afirma el responsable de desarrollo del exoesqueleto, Katsuhiko Saho, permite realizar cualquier tipo de movimiento con total comodidad a trabajadores que tienen que pasar la mayor parte de la jornada de pie como cirujanos o empleados en fábricas. (El País, “La silla que se lleva puesta”, 2016). La principal desventaja del ArchelisFX es su alto precio, el cual oscila sobre los 4.000€.



Imagen 12: Exoesqueleto ArchelisFX (Fuente: “FuturoProssimo”, Gianluca Riggio, 2021).

A modo de conclusión, los exoesqueletos cada vez ganan más importancia en el sector laboral y sobre todo en el entorno industrial, permiten a los trabajadores realizar sus actividades laborales de una forma ergonómicamente correcta para evitar o prevenir los riesgos derivados de sobreesfuerzos, posturas forzadas o cargas excesivas. Las empresas se encuentran en una fase de adaptación a dichas estructuras corporales donde deben observar e investigar los pros y contras sobre su uso, tanto para el trabajador en cuanto a los beneficios para su sistema musculoesquelético, como para la empresa analizando si los exoesqueletos pueden llegar a provocar un efecto positivo en su productividad y por consiguiente, en su economía.

## 5.1. Coste

Los exoesqueletos son unas estructuras que muestran el avance tecnológico de la sociedad actual, se desarrollan gracias a conceptos mecánicos, médicos o electrónicos, entre otros, los cuales requieren un desarrollo preciso para lograr el objetivo por el que se diseñan. Por consiguiente, los elementos que los conforman son complejos y deben cumplir ciertas características para adaptarse de la mejor manera al cuerpo humano, deben precisarse materiales de poco peso como el aluminio o la fibra de carbono para no suponer un obstáculo para el trabajador en el momento de realizar sus actividades.

Su complicado desarrollo y su alta tecnología provocan una de las desventajas más claras para los exoesqueletos, su precio. Además, el coste general de incorporar un programa de exoesqueletos en una empresa puede aumentar debido a que éstas deben realizar varias actividades y por tanto, requerir distintos modelos de exoesqueleto adaptados a unos parámetros específicos, aumentando el precio total de la compra. El precio de los exoesqueletos para uso industrial/laboral oscila entre los 3.000 - 4.000 euros aunque se destaca que, tal y como se explica en el apartado anterior, el exoesqueleto "Exosoft" de *Cyber Human Systems* (CHS) cuesta únicamente 750 euros gracias al uso de material textil para su fabricación. Con el paso del tiempo se populariza la idea de innovar en el material a utilizar para desarrollar un exoesqueleto mucho más ligero y asequible para las empresas, buscando un material más económico y que además reduzca el peso de la estructura.

En este apartado también cabe destacar que los exoesqueletos para fines médicos, sanitarios o de rehabilitación, los cuales serán explicados con mayor claridad en los apartados siguientes, suelen tener un precio más elevado que en el caso de los industriales/laborales. La causa es que los exoesqueletos vistos anteriormente se ayudan en parte, del movimiento humano, en cambio los exoesqueletos para fines rehabilitativos o médicos necesitan de una tecnología y desarrollo mucho más avanzado y complejo para poder ser capaces de ayudar a las personas parapléjicas a caminar, por ejemplo. El exoesqueleto creado por la empresa de Barcelona ABLE Human Motion, start up<sup>15</sup> dedicada al desarrollo de exoesqueletos para ayudar y mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades, cuesta alrededor de 20.000 € - 30.000 € y se considera un precio muy competitivo para su sector.

---

<sup>15</sup> Una start up o empresa emergente es aquella organización de nueva creación que comercializa productos o servicios mediante el uso intensivo de las TIC o Tecnologías de la Información y Telecomunicación.

## 5.2. Ventajas y desventajas derivadas de su uso

La implementación de esta tecnología tiene una serie de consecuencias positivas y negativas para la organización. El uso de los exoesqueletos en las empresas para poder mejorar la seguridad y salud de los trabajadores y la eficiencia de los procesos productivos tiene un conjunto de ventajas pero también de desventajas, tanto para el trabajador como para la empresa. El INRS<sup>16</sup> o Instituto Nacional de Investigación y Seguridad de Francia redactó un documento en 2018 sobre los exoesqueletos y su impacto en el trabajo llamado *“Exoesqueletos au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs, état des connaissances”*, INRS o “Exoesqueletos en el trabajo: impacto sobre la salud y seguridad de los operarios, estado de conocimiento”. Este documento afirma que los exoesqueletos pueden ser capaces de prevenir aquellos riesgos derivados de sobreesfuerzos, cargas elevadas o posturas forzadas ya que gracias a su uso se alivia la tensión ejercida en determinadas zonas del cuerpo. Además se destacan sus beneficios sobre la empresa en cuanto a agilización de procesos productivos y precisión en los mismos.

Por un lado y de acuerdo con el documento mencionado, estas son algunas de las principales ventajas que pueden aportar en el ámbito laboral/industrial:

- Permiten una reducción del esfuerzo de la zona lumbar y enderezan la espalda en aquellas actividades dónde el trabajador se encuentra en posición sagital.<sup>17</sup>
- Se consigue una reducción del 50% del esfuerzo ejercido sobre la zona superior del cuerpo, en especial los hombros, en aquellas actividades donde el trabajador opera con los brazos elevados.
- Disminuye la fuerza ejercida sobre las vértebras en aquellas actividades donde el trabajador se encuentra manipulando cargas, dónde la flexión y extensión del tronco es habitual.
- Permiten una reducción en cuanto a actividad muscular en zonas dónde el mínimo exceso de la misma puede ser perjudicial para el trabajador como en la zona lumbar

---

<sup>16</sup> Institut National de Recherche et Sécurité.

<sup>17</sup> Cuando una persona se encuentra en ángulo recto con el suelo y el plano frontal, el plano sagital divide el cuerpo en dos mitades, la anterior y la posterior.

o en la zona del cuello y las cervicales.

- Se aumenta la capacidad de flexión del tronco durante un tiempo el cual el trabajador no siente molestia.
- También se destaca sus efectos beneficiosos en fases de reincorporación tras una baja de larga duración causada por algún trastorno musculoesquelético.
- Reducción en cuanto a rotación de personal dado que muchas empresas optan por esta opción para reducir el tiempo de exposición a ciertos riesgos por parte de los trabajadores.
- El uso de exoesqueletos puede ayudar a prevenir ciertas lesiones musculoesqueléticas en los empleados, generando una reducción de costes para la empresa en cuanto a incapacidades profesionales provocadas por trastornos músculo esqueléticos (TME).

Por otro lado, tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, la principal desventaja de los exoesqueletos es su elevado coste económico generado por sus altos costes en recursos materiales y humanos, deben seguir unos parámetros específicos para poder adaptarse a las exigencias de las actividades a realizar y por consiguiente necesitan un diseño laborioso. También hay que destacar que muchos modelos están fabricados con materiales pesados y que por tanto, pueden llegar a ser incómodos para el trabajador en cuanto a movilidad o incluso generar una carga física adicional provocando un aumento del esfuerzo para el usuario.

Además, aunque habitualmente se fabrican exoesqueletos adaptables a distintas tallas físicas, su uso es prácticamente unipersonal y puede provocar que las empresas se vean obligadas a obtener varias unidades y modelos. Otro punto negativo es que las características personales de los empleados, así como las características morfológicas, antecedentes musculoesqueléticos (como lesiones, intervenciones o daños), problemas cutáneos o respiratorios, pueden provocar que el usuario no se adapte correctamente al exoesqueleto provocando que éste no se sienta cómodo con su uso. En consecuencia, pueden derivarse nuevos riesgos laborales para los empleados como por ejemplo el estrés que puede provocar el hecho de portar una estructura de un tamaño considerablemente superior lo cual puede llegar a ser molesto para el trabajador.

Aunque a primera vista un exoesqueleto puede ser beneficioso para la organización, es necesario que las empresas evalúen detalladamente la implementación de éstos en sus actividades laborales y estudiar su capacitación y adaptabilidad a los procesos productivos, con el fin de reducir los riesgos de carácter musculoesquelético en los empleados e intentar mejorar la eficiencia de las actividades laborales.

A continuación se presenta una tabla resumen sobre las principales ventajas y desventajas del uso de los exoesqueletos en la organización, tanto para la empresa como para los empleados:

	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>TRABAJADOR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce los esfuerzos en la zona lumbar.</li> <li>- Endereza la espalda previniendo posturas forzadas.</li> <li>- Reduce el esfuerzo ejercido en los hombros cuando se mantienen los brazos elevados.</li> <li>- Aumenta capacidades y resistencia fisiológica.</li> <li>- Reduce el riesgo de posturas forzadas en trabajos estáticos.</li> <li>- Sirve como soporte físico en trabajos de pie, evitando sobrecargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No asegura una adaptabilidad completa.</li> <li>- Su uso puede derivar en otros riesgos laborales relacionados con el exoesqueleto.</li> <li>- Puede provocar dificultades de movilidad.</li> <li>- No existen estudios sobre el impacto físico en cuanto a tiempo de uso.</li> </ul>
<b>EMPRESA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce los riesgos derivados de trastornos musculoesqueléticos.</li> <li>- Agilizar ciertos procesos productivos.</li> <li>- Permite reducir la rotación de personal.</li> <li>- Reducción de sobrecostes por incapacidades profesionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precio elevado.</li> <li>- Su uso puede provocar costes adicionales en formación/información.</li> <li>- Su uso puede conllevar modificaciones organizacionales.</li> <li>- Su uso puede provocar inseguridad en los empleados, afectando directamente a los resultados empresariales.</li> </ul>

Tabla 1 (Fuente: Elaboración propia).

### **5.3. Limitaciones**

A partir de las distintas ventajas y desventajas del apartado anterior se pueden obtener ciertas limitaciones para el usuario o trabajador en cuanto al uso de los exoesqueletos.

En primer lugar, dado al peso de los exoesqueletos o por el simple hecho de portarlo incorporado al cuerpo puede provocar cierta limitación de movimientos para el trabajador al realizar sus tareas de forma habitual. Los fabricantes emplean grandes esfuerzos en conseguir la máxima adaptabilidad posible para poder solucionar este problema aunque hay que destacar que, cada usuario tiene unas características distintas y dicha adaptabilidad al movimiento humano natural puede verse afectada.

En segundo lugar y relacionado con el punto anterior, se pueden encontrar incompatibilidades entre el usuario y el exoesqueleto debido a las características interpersonales de cada trabajador, de hecho, no se aconseja su uso en trabajadores con problemas de espalda, hernias o demás problemas físicos ya que éstos pueden poner en peligro la salud del empleado y dificultar el uso del exoesqueleto.

En tercer lugar, no existen estudios o investigaciones específicas sobre cuál es el límite de tiempo el cual un trabajador puede utilizar un exoesqueleto, las empresas que se encuentran en una fase de adaptación a esta tecnología suelen limitar su uso a 2 horas y estudiar cuales son los efectos sobre la salud del trabajador y según el resultado, aumentar o disminuir su uso. En relación con este hecho, el uso de exoesqueleto puede limitar las características físicas del usuario ya que puede desarrollarse una pérdida o reducción de la masa muscular debido a que con la utilización de los exoesqueletos hay otras zonas del cuerpo que no se ven ejercitadas.

En cuarto lugar, los exoesqueletos ayudan a reducir los TME causados por posturas forzadas, sobreesfuerzos o manipulación de cargas pesadas. Pero los TME también pueden producirse por movimientos repetitivos, entre otros, y hasta el momento los exoesqueletos no pueden actuar de manera efectiva sobre estos factores ergonómicos. De hecho, el uso de estas estructuras sin un previo análisis de adaptabilidad al tipo de actividad puede provocar que los TME no se vean reducidos.

Por último pero no menos importante, los exoesqueletos activos los cuales algunos llevan incorporada una batería, pueden experimentar limitaciones de autonomía debido a la capacidad energética de la misma.

## 6. Implantación en la empresa y PRL

Los Trastornos Músculo Esqueléticos (TME) suponen uno de los riesgos de carácter fisiológico con mayor relevancia en el ámbito laboral y sobre todo en el sector industrial. Según datos de EUROFOUND<sup>18</sup>, en la Encuesta europea sobre las condiciones de trabajo se realiza la pregunta *¿En qué medida su trabajo implica la adopción de posturas dolorosas o fatigantes?*, en el mapa del conjunto de Europa se puede observar cómo los países que obtienen mayores puntuaciones al contestar “Casi siempre” son Chipre, Grecia y España y con menores puntuaciones países como Dinamarca, República Checa y Eslovaquia.

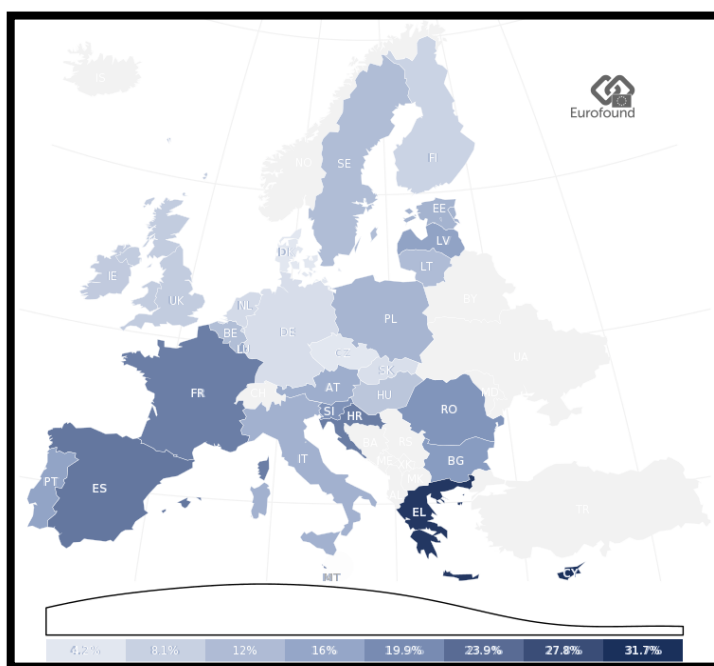


Gráfico 1: Trabajadores en Europa que adoptan “Casi siempre” posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

Por un lado, países como Grecia se encuentran en una peor situación en cuanto a posturas fatigantes o dolorosas donde gran parte de los empleados sienten que una parte o casi siempre se ven expuestos a este tipo de riesgo, únicamente un 35% de trabajadores sienten que “casi nunca” su trabajo implica la adopción de dichas posturas.

<sup>18</sup> EUROFOUND se trata de la Fundación Europea para la Mejora de las Condiciones de Vida y de Trabajo, es una organización tripartita de la Unión Europea fundada en 1975. Consiste en una agencia que imparte conocimientos en virtud del desarrollo de mejores políticas sociales, de empleo y de trabajo.

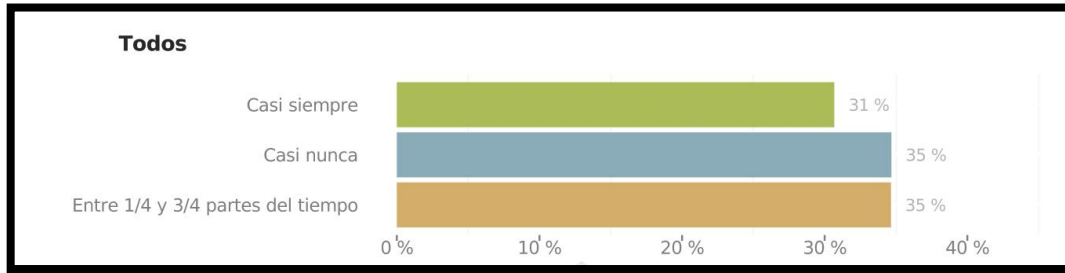


Gráfico 2: Trabajadores en Grecia que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

Por otro lado, países nórdicos como Dinamarca o mucho más cercanos como Alemania muestran resultados totalmente adversos en cuanto al riesgo por posturas fatigantes o dolorosas (posturas forzadas) en el trabajo. Una gran parte de los empleados sienten que “casi nunca” adoptan este tipo de posturas, en el caso de Dinamarca con un 67% de los trabajadores y en Alemania un 58%. La respuesta “casi siempre” obtiene resultados realmente bajos en estos países con un 4% en Dinamarca y un 6% en Alemania.

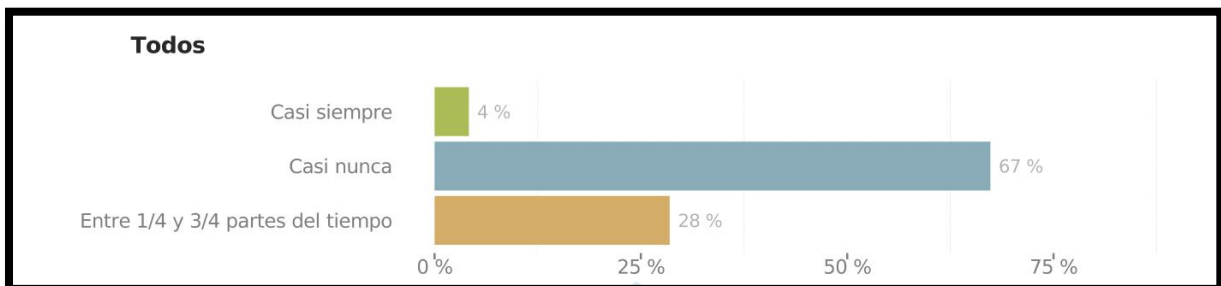


Gráfico 3: Trabajadores en Dinamarca que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

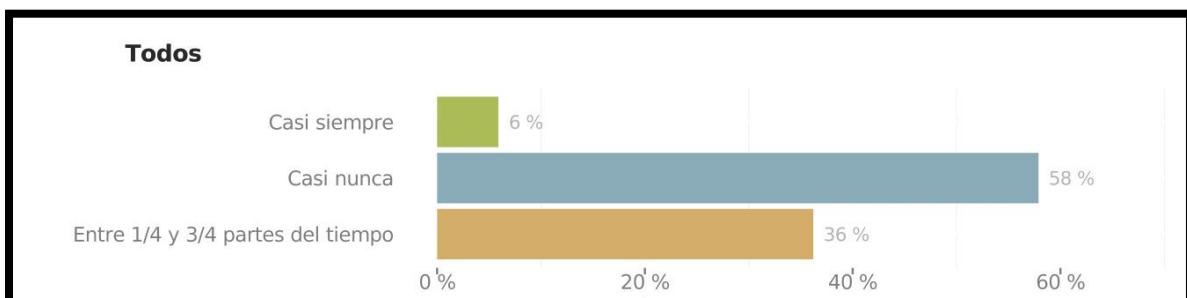


Gráfico 4: Trabajadores en Alemania que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).



Si se observan detalladamente los datos en España, una gran cantidad de trabajadores sienten que una parte de su trabajo (32%) o bien casi siempre (22%) se ven afectados por posturas forzadas las cuales pueden llegar a ser fatigantes o incluso dolorosas. El rango de edad más afectado por dicho problema se trata del colectivo comprendido entre los 35 - 49 años, los cuales obtienen las puntuaciones más bajas en “casi nunca” (43%) y las más altas en una parte del tiempo (32%) y “casi siempre” (25%).

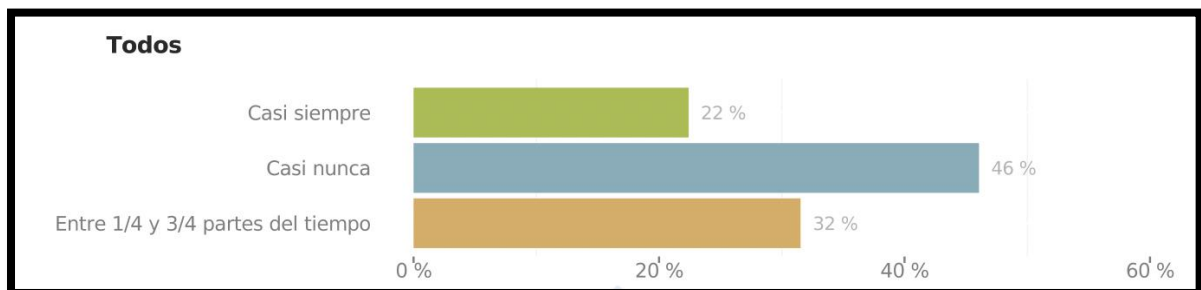


Gráfico 5: Trabajadores en España que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

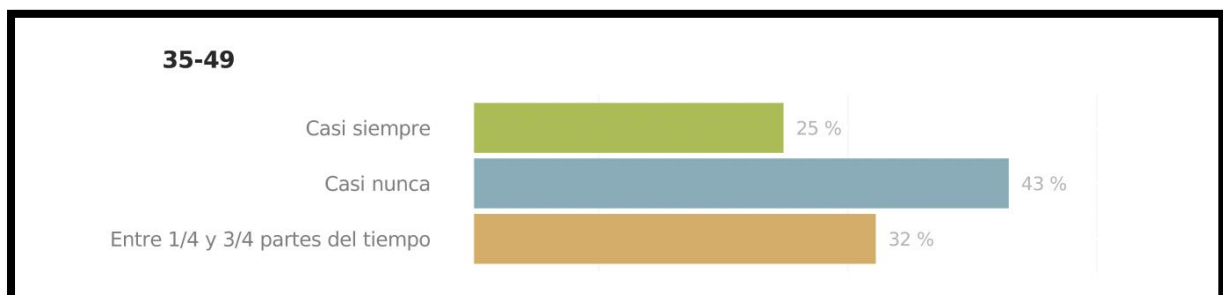


Gráfico 6: Trabajadores en España entre 35 - 49 años que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

Es necesario analizar los datos obtenidos por sectores de actividad en España y en concreto en áreas de especial interés para el presente trabajo como el sector de Agricultura e Industria y de Construcción y Transporte. Se tratan de las áreas más afectadas por posturas forzadas dónde gran parte de los empleados se ven expuestos a la adopción de posturas fatigantes o dolorosas. Por un lado, en ambos sectores una gran cantidad de empleados se expone en alguna ocasión a la adopción de dichas posturas en el trabajo. Por otro lado, únicamente un 36% - 37% de los trabajadores de ambos sectores sienten que “casi nunca” se ven expuestos.

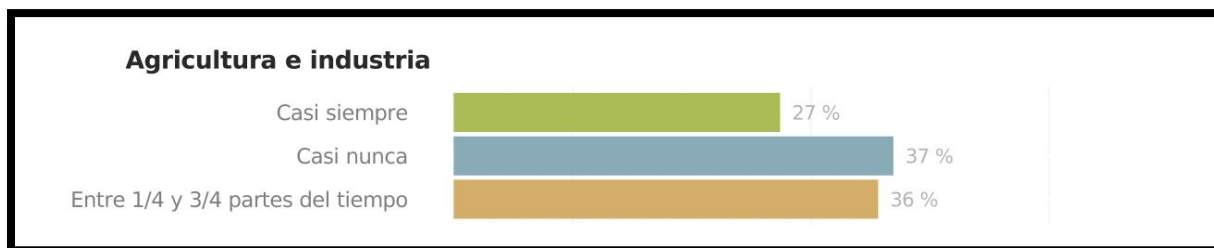


Gráfico 7: Trabajadores del sector de la agricultura e industria en España que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

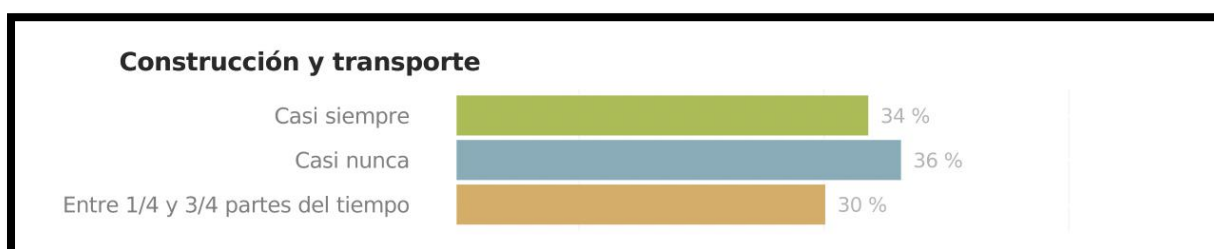


Gráfico 8: Trabajadores del sector de la construcción y transporte en España que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

Tal y como se puede observar, España es uno de los países europeos dónde más empleados se ven expuestos a posturas forzadas que son fatigantes o dolorosas, los sectores de Agricultura e Industria y Construcción y Transporte son los más afectados por este riesgo debido a que cuya actividad requiere un esfuerzo físico o manual adicional. Además, si se analizan los resultados según tipo de ocupación la cual puede ser administrativa o manual, se ve cómo ésta última es la más afectada por posturas fatigantes o dolorosas, en concreto el empleado manual de alta cualificación es el que se encuentra más afectado con un bajo porcentaje de respuesta en “casi nunca” (26%).

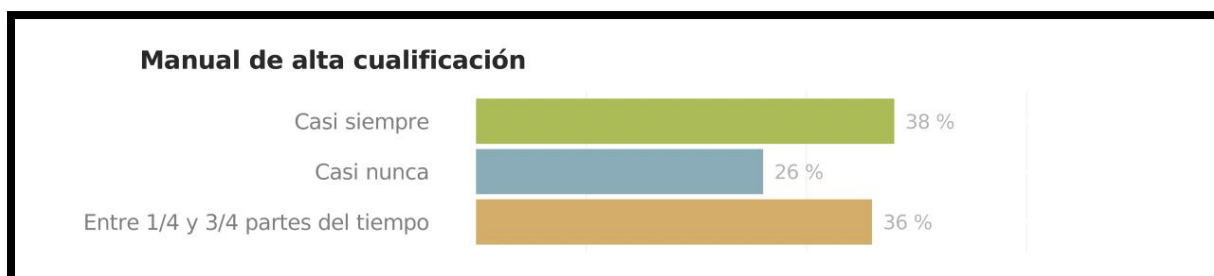


Gráfico 8: Trabajadores con ocupación Manual de alta cualificación en España que adoptan posturas dolorosas o fatigantes. (Fuente: Eurofound, encuesta sobre las condiciones de trabajo, Unión Europea, 2020).

Además, según un artículo escrito y publicado por la UGT<sup>19</sup> en su página web, los Trastornos Musculoesqueléticos (TME) representan una de las principales causas de baja laboral en España (UGT, portada Salud Laboral, 19 Octubre 2019). Afirman que los TME son una de las primeras causas de accidente laboral o de trabajo (AT) representando hasta un 33% sobre el total y también una de las principales causas de enfermedad profesional (EP) representando un 82% sobre el total. Además, también afirman que 3 de cada 5 trabajadores de la UE manifiestan sufrir algún tipo de TME.

Las posturas forzadas, así como el levantamiento manual de cargas o los sobreesfuerzos pueden provocar el aumento del riesgo a padecer trastornos músculo esqueléticos (TME) y para ello el uso de los exoesqueletos como herramienta de trabajo pueden ayudar a reducir estos sobreesfuerzos ya sea de manera pasiva realizando una redistribución del peso o bien de forma activa proporcionando un esfuerzo extra en el levantamiento de cargas o en los trabajos con los brazos situados por encima de los hombros. Es muy importante recordar que la implantación de estas estructuras en la organización no es tarea fácil, requiere de un estudio previo sobre la posible viabilidad del proyecto ya que, aunque la idea principal es que los exoesqueletos se adapten al trabajo y no al revés, el uso de estas estructuras en la empresa y sus procesos productivos puede provocar cambios en determinadas áreas.

La adquisición, implantación y seguimiento de esta tecnología en la empresa necesita de un proyecto laborioso dotado de distintas fases para lograr el objetivo de capacitar a la empresa para poder utilizar de manera eficaz los exoesqueletos en los procesos productivos y siempre salvaguardando la seguridad y salud de los trabajadores, analizando en todo momento las necesidades reales en cuanto a su adquisición. Existen distintas guías que pueden servir de ayuda para las empresas que desean incorporar los exoesqueletos en sus organizaciones, un buen ejemplo es el documento del INRS (*Institut National de Recherche et Sécurité*) sobre “Adquisición e Integración de un Exoesqueleto en la empresa” (INRS, diciembre 2018).

En primer lugar, es necesario realizar un estudio de viabilidad económica, un estudio ergonómico e identificar todos aquellos procesos o puestos de trabajo que pueden verse con beneficio en el uso de los exoesqueletos. En segundo lugar, es de vital importancia realizar un análisis específico sobre las distintas características de los empleados así como las posibles aportaciones y limitaciones de los exoesqueletos para poder conseguir la mayor

---

<sup>19</sup> La UGT o Unión General de Trabajadores consiste en uno de los sindicatos más representativos y mayoritarios en España, cuenta con más de 900.000 afiliados. Es una confederación sindical formada en el año 1888 y debido a su importancia nacional actúa como interlocutor social.

adaptabilidad posible con el trabajador, observar si realmente pueden ayudar a reducir los TME provocados por tareas físicamente exigentes sirviendo como herramienta de soporte en el trabajo. Es necesario analizar y evaluar criterios clave:

- Qué tipo de sobreesfuerzos, desplazamientos, levantamientos de carga o malas posturas se adoptan durante la jornada laboral, así como los puestos de trabajo, actividades o procesos en los que tienen lugar.
- Posible adaptabilidad frente a las distintas situaciones de trabajo que se dan de forma habitual, modificaciones en los equipos de trabajo y facilidad de movimientos.
- Características del lugar de trabajo, aspectos temporales, ambientales, técnicos y organizacionales relevantes en el uso de exoesqueletos.
- Analizar las características técnicas, organizativas y físicas de las distintas actividades a realizar durante la jornada laboral.
- Características fisiológicas y personales de los trabajadores, tipo de aportaciones que puede dar al trabajador, adecuación al tipo de trabajo, usabilidad y seguridad.

En esta fase de evaluación deben utilizarse métodos objetivos para la medición de los criterios fisiológicos pero también subjetivos considerando en todo momento la opinión del trabajador, es muy importante conocer las sensaciones de los empleados en cuanto al uso de los exoesqueletos en su jornada laboral. Una vez analizados todos los parámetros necesarios se incide en la fase de adaptación dónde los empleados incorporan los exoesqueletos en sus actividades laborales con el fin de proporcionar un mayor nivel de seguridad y salud, es muy importante mantener una comunicación fluida con los trabajadores para poder realizar un seguimiento adecuado y poder incorporar de manera eficaz los exoesqueletos en las organizaciones. Pueden desarrollarse cambios en determinadas áreas de la empresa debido a la adaptación a este tipo de tecnología y en especial interés para el presente trabajo, la Prevención de Riesgos Laborales contempla nuevos aspectos técnicos y tecnológicos provocando nuevos riesgos de carácter laboral inherentes al uso de exoesqueletos.

## **6.1. Riesgos laborales derivados del uso de exoesqueletos**

En términos ergonómicos, preventivos y de seguridad y salud, el principal objetivo de los exoesqueletos es poder servir como herramienta de soporte con la que se busca reducir los riesgos que causan gran parte de los trastornos musculoesqueléticos (TME) proporcionando una menor exigencia física para el trabajador y un mayor nivel de seguridad. La incorporación de los exoesqueletos en las actividades productivas provoca que la prevención de riesgos laborales se tenga que adaptar a dichas estructuras profundizando en el ámbito tecnológico e industrial y generando cambios en las distintas políticas, procesos y/o métodos preventivos. Su uso efectuado de manera eficaz puede ayudar a prevenir los TME en las empresas reduciendo la exposición a determinados riesgos laborales, aunque hay que destacar que también se pueden generar nuevos riesgos en distintas especialidades de la prevención de riesgos laborales inherentes a la utilización de los exoesqueletos.

A continuación, se describen algunos de los riesgos laborales más destacados derivados del uso de exoesqueletos:

- **Ergonomía**

- Discomfort provocado por irritaciones dérmicas y compresión en los músculos por contacto con el exoesqueleto.
- Problemas cardiovasculares por el aumento de la carga física derivada del volumen y el peso de la estructura.
- Trastornos de tipo sensorial provocados por la percepción del tacto, fuerza o movimiento.
- Lesiones articulares por ineficacia de adaptabilidades fisiológicas.
- Problemas de colocación.
- Movimientos incontrolados.

- **Seguridad**

- Choques con y/o contra objetos por problemas de espacio o por obstáculos situados fuera del campo de visión del empleado.
- Choques con y/o contra otros trabajadores debido a la carga física o movimientos incontrolados.

- Caída del trabajador a mismo nivel por problemas de equilibrio, movimientos incontrolados o inercia.
- Aplastamientos contra objetos y/o terceras personas.

- **Higiene**

- Disconfort térmico provocado por la utilización prolongada de la estructura.
- Inadecuación de las condiciones higiénicas debido al uso excesivo del exoesqueleto.
- Riesgos biológicos derivados de un uso simultáneo.

- **Psicosociología**

- Sensación de cansancio cognitivo por el aumento de la concentración y las exigencias de atención que requiere el uso del exoesqueleto.
- Aumento de la pérdida de control.
- Aumento del estrés provocado por el hecho de portar una estructura pesada y tecnológica incorporada al cuerpo.

## **6.2. Medidas preventivas a aplicar**

Debido a los riesgos inherentes a la implantación de los exoesqueletos en la empresa es necesario un estudio previo totalmente completo sobre la adaptabilidad de estas estructuras en la organización así como de su confort con el empleado, es preciso analizar todas las variantes posibles del entorno laboral así como los factores fisiológicos de los trabajadores. Esta fase de análisis y preparación para su incorporación en la empresa es de gran importancia y la principal medida preventiva a aplicar para prevenir los riesgos derivados de su uso. Una vez incorporados en la organización y en los procesos productivos, es necesaria la aplicación de nuevos métodos preventivos así como la creación de medidas preventivas acordes a las exigencias sobre seguridad y salud del uso de los exoesqueletos.

A continuación se destacan algunas de las posibles medidas preventivas destinadas a prevenir los riesgos descritos en el apartado anterior:

- **Ergonomía**

Con el fin de prevenir los riesgos ergonómicos derivados del uso de los exoesqueletos es necesario realizar una selección del exoesqueleto en base a las características de las actividades a realizar y las características fisiológicas de los trabajadores, se aconseja la adquisición de exoesqueletos ligeros para facilitar la movilidad del trabajador y el correcto uso del mismo. Se debe realizar una evaluación de los factores físicos y dimensionales del lugar de trabajo. También es necesaria una evaluación de riesgos específica acompañada de programas de formación teórico práctica sobre el correcto uso de los exoesqueletos y los posibles riesgos asociados. Además, se recomienda realizar formaciones a los posibles usuarios sobre cómo colocar y regular correctamente el exoesqueleto. Dichas medidas preventivas se acompañan de unas limitaciones en cuanto al tiempo de uso con el fin de establecer tiempos de utilización máximos y se debe restringir la alternabilidad con tareas incompatibles.

- **Seguridad**

Como medidas preventivas en base a los riesgos de seguridad se destaca realizar una evaluación exhaustiva del lugar y situación del trabajo y de las tareas a realizar teniendo en cuenta factores como la circulación de personas, el espacio disponible y la posible obstaculización por objetos, si es necesario valorar aspectos como la reorganización del puesto de trabajo. Dicha evaluación proporciona a la empresa una mayor capacidad de decisión en cuanto a qué exoesqueleto adquirir. Las tareas de orden y limpieza deben cumplirse de manera eficaz con el fin de evitar riesgos de choques o caídas contra obstáculos o sustancias resbaladizas. Es muy importante elaborar una evaluación de riesgos de seguridad específica para cada lugar de trabajo, proceso o actividad. También es recomendable realizar una fase de adaptación fuera de la situación laboral para que el trabajador se familiarice con la estructura. Además, es de vital importancia formar al trabajador sobre su correcto uso y sobre los riesgos laborales y medidas preventivas asociadas.

- **Higiene**

Con tal de prevenir los riesgos laborales de carácter higiénico es necesaria una evaluación de riesgos centrada en los factores ambientales que rodean el lugar de trabajo como temperatura, humedad, o ventilación con el fin de poder establecer medidas preventivas como sistemas de climatización o ventilación general. Además, se aconseja adquirir un exoesqueleto cuyo textil permita la correcta transpiración de

las zonas del cuerpo del usuario. Es muy importante promover un lugar de trabajo limpio, ordenado y desinfectado y se recomienda realizar un mantenimiento del exoesqueleto de manera regular o bien después de cada uso.

- **Psicosociología**

Los riesgos derivados de la psicología inherentes al uso de exoesqueleto pueden evitarse fomentando y promoviendo programas de sensibilización sobre el exoesqueleto, aportar toda aquella información posible para que el trabajador no se sienta incómodo con su uso y pueda entender que beneficios de seguridad y salud le puede aportar. Esta información debe ir acompañada con programas de formación sobre su correcta utilización, riesgos derivados y medidas preventivas asociadas. Al igual que en otras tipologías de riesgo mencionadas anteriormente, se recomienda introducir una fase de adaptación y adecuación a su uso para que el trabajador se familiarice con la estructura y se sienta con confianza ante una situación real de trabajo.

## **7. Utilidad y funcionalidades en el ámbito sanitario**

Tal y como se ha podido observar, los exoesqueletos son cada vez más utilizados en el ámbito laboral para servir como herramienta de soporte para el trabajador reduciendo la exigencia física del mismo y lograr así prevenir algunos de los trastornos musculoesqueléticos que caracterizan la mayoría de las bajas laborales en entornos industriales y en sectores cuya actividad requiere un esfuerzo físico considerable. Estas estructuras también ganan protagonismo en distintos ámbitos como por ejemplo el médico/sanitario dónde cada vez es mayor la aportación de los exoesqueletos ofreciendo fines rehabilitativos y fisioterapéuticos, permiten a los pacientes usuarios realizar movimientos que hasta el momento eran impensables y también sirven de ayuda a los cirujanos para poder realizar sus tareas de una forma más segura y con menos exigencia física.

Los exoesqueletos en el ámbito sanitario suelen estar destinados para la parte inferior del cuerpo y para aquellas personas con distintos grados de discapacidad, personas con problemas parapléjicos o pacientes con movilidad reducida. Aunque es necesario destacar que también existen algunos modelos destinados para la parte superior del cuerpo y que permiten realizar tareas cotidianas a personas con una discapacidad severa. En 2018, un grupo de investigación del Grupo de Neuroingeniería Biomédica de la Universidad Miguel



Hernández (UMH) de Elche presentaron un exoesqueleto de tipo activo que se incorporaba a la silla de ruedas de los pacientes con una discapacidad motriz y les permitía realizar tareas cotidianas como beber, comer u otras tareas habituales como asearse para ayudar al paciente a aumentar su grado de independencia, dicho exoesqueleto se puede observar en la imagen 13. En dicha imagen se aprecia como un paciente con algún tipo de discapacidad motriz lleva incorporado un exoesqueleto de tipo activo para la parte superior del cuerpo con el que consigue levantar el brazo y beber de una botella de agua.

Durante el siguiente apartado se van a exponer las distintas aportaciones de estas estructuras en el ámbito sanitario así como algunos de los modelos más utilizados, por un lado se va a hablar sobre sus aportaciones en los profesionales sanitarios como médicos y/o cirujanos a la hora de realizar tareas en quirófano y por otro lado, sobre sus beneficios para aquellas personas con algún tipo de discapacidad motriz o movilidad reducida, aquellas personas que experimentan importantes dificultades para caminar o realizar movimientos.



Imagen 13: Exoesqueleto de UMH (Fuente: Página web oficial UMH, Servicio de Comunicación, Marketing y Atención al Estudiantado, 2018).

### **7.1. Uso en hospitales**

Los médicos y cirujanos que realizan operaciones diariamente están expuestos a un desgaste físico considerable ya que deben permanecer en la misma posición durante un tiempo prolongado o bien por la tensión que genera la complejidad de su trabajo, lo que se traduce con futuras dolencias y lesiones musculoesqueléticas.

En España, uno de los primeros hospitales en incorporar los exoesqueletos en las actividades de los médicos y cirujanos fue el Hospital Clínico de Zaragoza a principios de 2019, la iniciativa nació gracias al departamento de Prevención de Riesgos Laborales del propio hospital el cual puso en marcha un plan de intervención preventiva de carácter ergonómico con el fin de mejorar la salud y la calidad laboral de los cirujanos. La iniciativa trataba de incorporar en el Hospital Clínico unas estructuras ergonómicas para ayudar a reducir las molestias causadas por trastornos musculoesqueléticos. Se trata de un exoesqueleto de tipo pasivo el cual se ha visto expuesto en el presente trabajo, el “Chairless Chair” diseñado por Noonee. Dicho exoesqueleto permite al usuario realizar sus tareas de una forma de pie-sentado o semisentado consiguiendo una redistribución del peso y reduciendo la exigencia física en determinadas zonas del cuerpo, en especial en la zona lumbar, en las imágenes 14 y 15 se pueden observar varias imágenes dónde el médico cirujano del hospital utiliza el exoesqueleto Chairless Chair. Además, en el mismo hospital se utilizaron también exoesqueletos pero en este caso de parte superior del cuerpo para descargar el esfuerzo ejercido en la zona de los hombros durante las operaciones en quirófano.

Los sanitarios realizan labores de total importancia para nuestra sociedad, salvaguardando nuestra salud física y mental. En muchas ocasiones su trabajo requiere de un esfuerzo físico que si éste se prolonga en el tiempo puede ser perjudicial para su salud provocando problemas musculares, los exoesqueletos pueden ayudar a prevenir ciertos trastornos musculoesqueléticos que tienen lugar en los quirófanos o en determinadas áreas del hospital dónde los médicos, cirujanos y demás especialistas sanitarios deben permanecer de pie durante mucho tiempo o realizar tareas exigentes físicamente.



Imagen 14: Exoesqueleto Chairless Chair utilizado en el Hospital Clínico de Zaragoza (Fuente: *Heraldo, Sanidad, “Médicos del Clínico pioneros en operar con exoesqueletos para reducir esfuerzo y evitar lesiones”, 2019*).

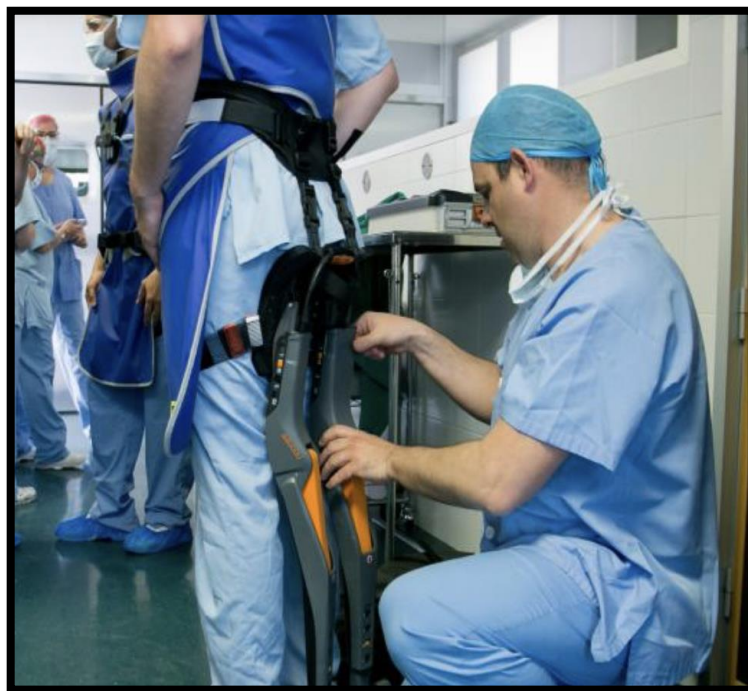


Imagen 15: Exoesqueleto Chairless Chair utilizado en el Hospital Clínico de Zaragoza (Fuente: *Heraldo, Sanidad, “Médicos del Clínico pioneros en operar con exoesqueletos para reducir esfuerzo y evitar lesiones”, 2019*).

## 7.2. Discapacidad y movilidad reducida

Los exoesqueletos aportan grandes beneficios en el sector sanitario y sobre todo en aquellos pacientes que sufren algún tipo de discapacidad motora o movilidad reducida. Cada vez son más los diseños que permiten a los pacientes mantenerse erguidos, realizar movimientos hasta el momento impensables o incluso caminar. En el presente apartado se van a exponer las distintas aportaciones de los exoesqueletos en el ámbito sanitario y específicamente en los pacientes con discapacidad física/motriz o con movilidad reducida.

En primer lugar, se destaca el modelo de exoesqueleto llamado “Phoenix” diseñado y fabricado por SuitX, una empresa tecnológica líder en el sector encargada de diseñar, desarrollar y comercializar exoesqueletos robóticos destinados para el sector industrial y sanitario. El “Phoenix” consiste en un exoesqueleto activo de únicamente 12,25 kilogramos que permite a las personas con discapacidad o movilidad reducida ponerse de pie e incluso caminar.

Está fabricado gracias a una interfaz<sup>20</sup> intuitiva que ayuda a los usuarios a realizar movimientos o ponerse de pie y la carga de la batería puede durar hasta 4 horas de manera continua o bien hasta 8 horas en caso de que sean movimientos intermitentes. Hay que destacar que en pacientes con una discapacidad física severa, en un inicio se aconseja su uso complementado con muletas. Además, este exoesqueleto tiene un diseño estructural que permite que el usuario pueda colocarlo sin ningún tipo de ayuda de terceras personas, de tal forma, este exoesqueleto es capaz de ayudar a ponerse de pie o caminar a pacientes con discapacidad y además les permite aumentar su capacidad de independencia. En las imágenes 16 y 17 se observa el exoesqueleto diseñado por SuitX y como permite que una persona con discapacidad física consiga ponerse de pie.

---

<sup>20</sup> Una interfaz viene del término en inglés *interface* y representa la conexión entre dos partes o sistemas, en relación con el presente trabajo, corresponde con una herramienta que permite a una persona comunicarse y conectarse con una máquina.





Imagen 16: Exoesqueleto Phoenix de SuitX (Fuente: Página web oficial SuitX, 2020).



Imagen 17: Exoesqueleto Phoenix de SuitX (Fuente: Página web oficial SuitX, 2020).

Los exoesqueletos con fines rehabilitativos y fisioterapéuticos para pacientes con discapacidad son cada vez más populares en el sector sanitario, en este sentido es necesario destacar que las discapacidades previamente mencionadas tienen también un impacto significativo en el colectivo infantil.

En segundo lugar y en relación con la movilidad reducida infantil, es necesario destacar el exoesqueleto pionero en dicho ámbito y creado en España, el “ATLAS 2030”. Una creación de Antonio del Amo investigador e ingeniero especializado en biomedicina del Hospital de Paraplégicos de Toledo y Elena García Armada, una reconocida ingeniera<sup>21</sup> y doctorada en robótica por la Universidad Politécnica de Madrid. Entre 2013 y 2014, ésta fundó una empresa llamada Marsi Bionics<sup>22</sup> y en octubre de 2020 se desarrolló el “ATLAS 2030”, un exoesqueleto de tipo activo destinado a tratar niños y niñas con algún tipo de discapacidad motriz o con AME, una enfermedad llamada Atrofia Muscular Espinal la cual provoca una degeneración de las neuronas de la médula espinal. Este exoesqueleto el cual dispone de Marcado CE<sup>23</sup> funciona con energía eléctrica, tiene un peso aproximado de 14 kilogramos y tiene distintas tallas de 3 a 14 años, es capaz de interpretar y captar la intención de movimiento del paciente.

En una entrevista del diario “El País”, Elena García destacaba: *“Ahora tenemos un gran reto por delante: democratizar el exoesqueleto. Que todos los niños con afectación de la marcha puedan sentir esa sensación, que puedan tener una oportunidad de tener una mejor calidad de vida. Tenemos que lograr que ninguna familia se pierda esto”* (El País, Ciencia y Materia, Alberto Quero, “El primer exoesqueleto infantil es español y ya está listo para su comercialización”, Mayo de 2021).

En las imágenes 18 y 19 se puede observar el diseño del “ATLAS 2030” y como un niño con movilidad reducida consigue ponerse de pie gracias al exoesqueleto.

Estos son tal solo algunos de los ejemplos de exoesqueletos que actualmente pueden mejorar la calidad de las personas y pacientes del sector sanitario, son capaces de prevenir los riesgos que causan trastornos musculoesqueléticos a los médicos y cirujanos y aún más importante, permiten que personas y niños con movilidad reducida sean capaces de ponerse de pie, realizar movimientos o caminar.

---

<sup>21</sup> Elena García Armada fue reconocida como mejor ingeniera de 2019 y además es investigadora en el Centro de Automática y Robótica del CSIC, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

<sup>22</sup> Empresa ubicada en Madrid y dedicada al desarrollo y comercialización de exoesqueletos destinados a niños y niñas con movilidad reducida.

<sup>23</sup> El Marcado CE es un símbolo que representa la conformidad europea, indica que el producto cumple con las disposiciones Europeas.

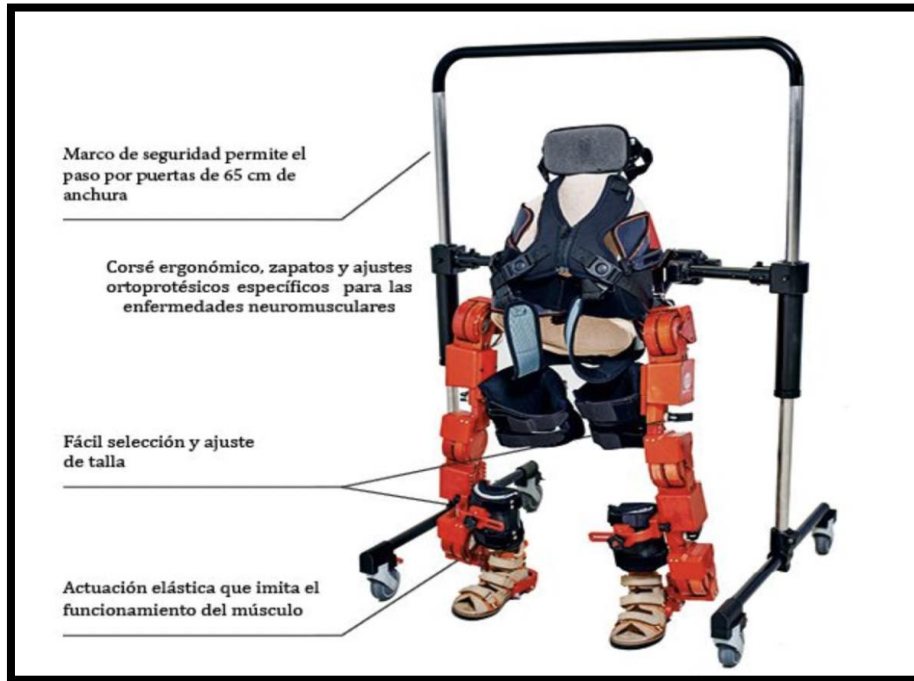


Imagen 18: Diseño del Exoesqueleto ATLAS 2030 (Fuente: Página web oficial Marsi Bionics, 2021).



Imagen 19: Exoesqueleto ATLAS 2030 (Fuente: INFOSALUS, Asistencia, 2021).

## **8. Conclusiones**

Los avances tecnológicos que se han producido este último siglo han transformado la sociedad, el mundo laboral y con ello las organizaciones que lo conforman, éstas han adaptado su metodología productiva a las nuevas tecnologías promoviendo siempre la seguridad y salud de los empleados y garantizando el correcto funcionamiento de la empresa. Tal y como se ha podido observar en el presente trabajo, los trastornos musculoesqueléticos (TME) tienen un peso importante en las bajas laborales de los trabajadores y en muchas ocasiones son provocados por posturas fatigantes o dolorosas, posturas forzadas y/o sobreesfuerzos en el levantamiento de cargas. De hecho, según datos de la Unión General de Trabajadores (UGT), uno de los sindicatos con mayor representación en España, tres de cada cinco trabajadores europeos sufren algún tipo de TME provocado por la actividad laboral que desarrollan.

Los exoesqueletos son una herramienta ergonómica que permiten reducir la exigencia física de ciertas actividades laborales ofreciendo una redistribución del peso o bien aportando un esfuerzo extra al usuario. Tal y como se ha podido observar en el presente trabajo, son múltiples las funcionalidades que pueden tener estas estructuras dentro del mundo laboral aportando beneficios en cuanto a seguridad y salud a los trabajadores y también en el ámbito sanitario dónde se utilizan los exoesqueletos como herramienta con fines rehabilitativos y terapéuticos. Cada vez son más las empresas que están optando por incorporar los exoesqueletos en su organización, sobre todo en el sector industrial y de automoción dónde la actividad física es constante. Grandes multinacionales de los sectores mencionados han conseguido importantes beneficios sobre la salud de sus trabajadores reduciendo los TME y experimentando cambios a nivel productivo agilizando distintos procesos o aumentando la eficiencia de los mismos.

Cabe destacar que los exoesqueletos pueden presentar ciertas limitaciones en cuanto a adaptabilidad al trabajador o al proceso productivo produciendo efectos negativos para la organización. Si es cierto que estas estructuras pueden ayudar a reducir los trastornos provocados por sobreesfuerzos o posturas forzadas, también es importante tener en cuenta que existen ciertos TME provocados por otros riesgos dónde los exoesqueletos no tienen una eficacia demostrada como pueden ser los movimientos repetitivos. También hay que tener en cuenta que el coste económico de esta tecnología ergonómica es elevado y por ello las empresas deben realizar un análisis previo sobre su posible viabilidad financiera teniendo en cuenta las posibles aportaciones de su uso en el sistema organizativo. También se destaca



que su uso puede acarrear otros riesgos laborales inherentes al exoesqueleto y por tanto, nuevas medidas preventivas.

El objetivo principal de estas estructuras es reducir el riesgo a sufrir trastornos musculoesqueléticos reduciendo la exigencia física en determinadas actividades y mejorar así la calidad de vida de los trabajadores. Las organizaciones que opten por utilizar los exoesqueletos en sus procesos productivos deben realizar un exhaustivo análisis de adaptabilidad y viabilidad tanto para la empresa como para el trabajador usuario con el fin de lograr la mayor eficacia en términos de seguridad y salud. Como recomendación, se aconseja realizar un estudio previo sobre todos aquellos factores a tener en cuenta en el uso de exoesqueletos en términos organizativos, preventivos y de trabajadores usuarios para valorar las distintas ventajas y desventajas de su utilización. Además, se recomienda dotar al proyecto con distintas fases de adaptación y formación para los trabajadores usuarios logrando una mayor familiarización con dicha estructura. Para ello, deben utilizarse métodos de evaluación objetivos y subjetivos garantizando siempre una comunicación constante con el trabajador buscando la mayor adaptabilidad posible. El estudio y la actuación previa a la adquisición de los exoesqueletos por parte de las empresas y organizaciones es crucial para poder obtener los resultados esperados.

El mundo actual se encuentra inmerso en una dinámica de cambios constantes relacionados con la era de la innovación, la tecnología puede aportar grandes beneficios a nuestra sociedad siempre y cuando se utilice de la forma correcta.

## Bibliografía y Webgrafía

Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana. (2020). *Exoesqueletos en prevención de riesgos laborales*. Prevención y retos 4.0. FEMEVAL. Disponible en: <https://www.femeval.es/dam/jcr:57e9814c-7825-4db7-b4d9-1b3ba12ce75d/GUIA-EXOESQUELETOS.pdf>

Elvira, A. Royo, J. Ducun, M. (2020). *Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos, mitos, leyendas y certezas*. Mutua Universal. Disponible en: <https://www.sesst.org/wp-content/uploads/2020/11/ergonomia-4.0.pdf>

Martí, A. (2020). *Utilización de exoesqueletos en el ámbito laboral*. Documento de información preventiva. CROEM. Disponible en: [https://portal.croem.es/Web20/CROEMPrevencionRiesgos.nsf/4D1C7A21DA550946C12583F90025CE57/\\$FILE/2%20Exoesqueletos.pdf](https://portal.croem.es/Web20/CROEMPrevencionRiesgos.nsf/4D1C7A21DA550946C12583F90025CE57/$FILE/2%20Exoesqueletos.pdf)

Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. (2019). *Impacto de la utilización de los exoesqueletos en la seguridad y la salud en el trabajo*. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/publications/impact-using-exoskeletons-occupational-safety-and-health>

Cano, J. (2019). *Los exoesqueletos. La tecnología y el avance científico para uso ergonómico*. Valora Prevención. Disponible en: Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. (2019). *Impacto de la utilización de los exoesqueletos en la seguridad y la salud en el trabajo*. Disponible en: <https://www.valoraprevencion.es/blog/2019/02/25/exoesqueletos/>

Tomás, M. (2021). *Los exoesqueletos, una alternativa para personas con discapacidad o movilidad reducida y para prevenir lesiones laborales*. Hispanidad. Disponible en: [https://www.hispanidad.com/publiirreportaje/exoesqueletos-alternativa-personas-con-discapacidad-movilidad-reducida-prevenir-lesiones-laborales\\_12027186\\_102.html](https://www.hispanidad.com/publiirreportaje/exoesqueletos-alternativa-personas-con-discapacidad-movilidad-reducida-prevenir-lesiones-laborales_12027186_102.html)

Institut National de Recherche et de Sécurité. (2018). *Exoesqueletos en el trabajo: impacto sobre la salud y seguridad de los operarios*. INRS. Disponible en: <https://www.inrs.fr/publications/essentiels/exosquelettes.html>

Novagés. (2019). *Exoesqueletos para hospitales*. Noticias Novagés. Disponible en: <https://www.novages.es/exoesqueletos-para-hospitales/>

Luque, J. (2016). *Dispositivos y tecnologías wearables*. ACTA. Disponible: [https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/041001.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/041001.pdf)

SEAS. (2021). *Qué es y qué aplicaciones tiene un exoesqueleto*. Blog Seas. Disponible en: <https://www.seas.es/blog/varios/que-es-y-que-aplicaciones-tiene-un-exoesqueleto/>

Pozo, A. Gudiño, J. Alcalá, J. Charre-Ibarra, S. Vélez, D. (2020). *Diseño y co-simulación de un exoesqueleto*. Boletín científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan. XIKUA. UAEH. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/article/view/5946>

Nañez J. (2016). *El uso de exoesqueletos para mejorar la ergonomía está cerca*. SPA Prevención Autorizada. Disponible en: <https://prevencionautorizada.com/el-uso-de-exoesqueletos-para-mejorar-la-ergonomia-esta-cerca/>

Instituto Canario de Seguridad Laboral. (2019). *Los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral*. Fauca. Disponible en: <https://www.fauca.org/wp-content/uploads/2016/05/folleto5.pdf>

Sanchis, A. (2020). *Para qué (y cómo) se están usando los exoesqueletos en las fábricas españolas*. Xataka. Disponible en: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/como-se-estan-usando-exoesqueletos-fabricas-espanolas>

Fontenla, C. (2019). *Médicos del Clínico, pioneros en operar con exoesqueletos para reducir esfuerzo y evitar lesiones*. Heraldo. Disponible en: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2019/04/04/medicos-del-clinico-pioneros-en-operar-con-exoesqueletos-para-reducir-esfuerzo-y-evitar-lesiones-1307209.html>

Calero, F. (2021). *CHS: la empresa vizcaína que permitirá el uso masivo de exoesqueletos en entornos industriales*. Innovación al día. Innova Spain. Disponible en: <https://www.innovaspain.com/chs-exoesqueletos-industria-euskadi-gogoa/>

Quero, A. (2021). *El primer exoesqueleto infantil es español y ya está listo para su comercialización*. Tecnología sanitaria. El PAÍS. Disponible en: <https://elpais.com/ciencia/2021-05-12/el-primer-exoesqueleto-infantil-es-espanol-y-ya-esta-listo-para-su-comercializacion.html>

Institut National de Recherche et de Sécurité. (2018). *“Exoesqueletos au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs, état des connaissances”*. INRS. Disponible en: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>

Novelec. (2019). *¿Qué es y cómo funciona un sensor biométrico?*. Noticias. Redes VDI. Disponible en: <https://blog.gruponovelec.com/redes-vdi/como-funciona-sensor-biometrico/#¿Como funciona un sensor biometrico>

FPO. (2019). Free patents online. FPO. Disponible en: <https://www.freepatentsonline.com/1308675.html>

Abad, J. (2016). *La silla que se lleva puesta*. Tecnología. El PAÍS. Disponible en: [https://elpais.com/tecnologia/2016/02/03/actualidad/1454481321\\_969378.html](https://elpais.com/tecnologia/2016/02/03/actualidad/1454481321_969378.html)

Riccio, J. (2021). *ArchelisFX, silla exoesqueleto para estar de pie*. Tecnología. Futuro Prossimo. Disponible en: <https://es.futuroprossimo.it/2021/01/archelisfx-esoscheletro-sedia-per-stare-in-piedi/>

Martí, A. (2017). *Una silla sin silla: así se define este wearable-exoesqueleto que permite que te sientes en cualquier lugar*. Xataka. Disponible en: <https://www.xataka.com/investigacion/una-silla-sin-silla-asi-se-define-este-wearable-exoesqueleto-que-permite-que-te-sientes-en-cualquier-lugar>

Comisión Europea. (2020). *Una novedosa silla-exoesqueleto como apoyo para los trabajadores de fábricas*. Cordis, resultados de investigaciones de la UE. Disponible en: <https://cordis.europa.eu/article/id/429162-novel-exoskeleton-chair-supports-factory-workers/es>

Smart City Journal. (2017). *¿Adiós a las sillas?: un exoesqueleto para trabajar sentado*. Tecnología SCJ. Disponible en: <https://www.thsmartcityjournal.com/es/tecnologia/adios-sillas-exoesqueleto-trabajar-sentado>

EUROFOUND. (2021). Encuesta europea sobre las condiciones de trabajo. Disponible en: <https://www.eurofound.europa.eu/es/data/european-working-conditions-survey>

Branco, A. (2020). *Un exoesqueleto español y barato para volver a andar y dejar la silla de ruedas*. El Español. Disponible en: <https://www.elespanol.com/>

## **Agradecimientos**

Me gustaría dar las gracias a mi familia por su apoyo durante la realización del trabajo e interés en la temática del mismo. Agradecer a mi profesor de Ergonomía y tutor del presente TFM Pedro Manuel Rodríguez Mondelo, por introducirme en el mundo de los exoesqueletos gracias a sus explicaciones durante la asignatura y por enseñarme los conceptos necesarios para entender sus beneficios y funcionalidades en la sociedad actual.

