



# Exoesqueletos I: Definición y clasificación

*Exoskeletons I: Definition and classification.  
Exosquelettes I: Définition et classification.*

**Autor:**

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

**Elaborado por:**

Jon Zubizarreta Molinuevo

CENTRO NACIONAL DE VERIFICACIÓN DE MAQUINARIA. INSST

*El desarrollo tecnológico ha conseguido crear un nuevo tipo de dispositivos, los exoesqueletos, que empiezan a presentarse como una vía de intervención ergonómica y de mejora de las condiciones de trabajo, especialmente en lo que a la Carga Física se refiere.*

*Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente es bien conocido que las demandas y exigencias físicas de la actividad laboral pueden ocasionar daños a la salud. Para tratar de evitarlos y ayudar a dar respuesta a esta problemática, se ha desarrollado un nuevo tipo de dispositivos, conocidos como exoesqueletos, que proporcionan ayuda para la realización del trabajo.

Su presencia es cada vez mayor en las empresas, estando ya implantados en sectores de actividad tales como la fabricación de automóviles, la aeronáutica, la logística etc. donde frecuentemente se realizan tareas de fuerte demanda física, tales como la manipulación manual de cargas, la adopción de posturas forzadas o mantenidas, o la ejecución de movimientos repetitivos.

Una vez agotadas las medidas de protección colectiva para evitar estos riesgos laborales, en ocasiones se recurre a proporcionar a los trabajadores exoesqueletos.

Su definición es amplia, englobando una gran variedad de equipos de muy diferentes tipologías y aplicaciones. Algunos de ellos, por ejemplo, se encuadran en el capítulo “robots”, ya que, al disponer de partes móviles accionadas por una fuente de energía exterior, son considerados como máquinas.

Hay un gran potencial de aplicación de estos equipos en el mundo laboral para tratar de optimizar la realización de tareas, con la finalidad de reducir los trastornos musculoesqueléticos. Siendo estos trastornos un problema frecuente en algunos sectores de actividad, como los anteriormente señalados, es precisamente en ellos donde los exoesqueletos van adquiriendo mayor protagonismo.

Con la ayuda de la tercera encuesta europea de empresas sobre riesgos nuevos y emergentes (ESENER) llevada a cabo por la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo en 2019, en la que fueron entrevistadas 45.000 empresas en 33 países de Europa, se evidenció el impacto que las lesiones osteomusculares tienen en la población laboral.

Esta encuesta es la tercera edición de una serie llevada a cabo desde 2004. En ella se señala que, por ejemplo,

la preocupación por el impacto que puede tener sobre la salud el estar sometido a movimientos repetitivos en el trabajo es del 58,1% como media y, en España, del 76,3%.

En cuanto a las estadísticas en España, las relativas a enfermedades profesionales señalan que las encuadradas en el Grupo 2: Enfermedades profesionales causadas por agentes físicos suponen alrededor del 85% de los partes cerrados. En este Grupo 2 se encuadran todas aquellas patologías provocadas, entre otros factores, por posturas forzadas y movimientos repetitivos, vibraciones etc. En cuanto a los accidentes de trabajo, aproximadamente el 30% se encuadra en el capítulo de sobreesfuerzos (*Accidentes de Trabajo con baja, en jornada e in itinere, según gravedad, 2019*).

Por todo lo anterior, resulta evidente que cualquier actuación que suponga a priori una mejora de las condiciones de trabajo, reduciendo algunos de los factores de riesgo osteomuscular, va a ser una buena noticia en el campo de la ergonomía aplicada a la prevención de riesgos laborales.

Pero si bien es cierto que los exoesqueletos pueden ser una herramienta de mejora, su implantación no debe constituir una acción aislada, sino seguir los principios y la jerarquía de las acciones preventivas vigilando especialmente que su uso, en primer lugar, ayude a eliminar o controlar el factor de riesgo detectado y, en segundo lugar, que su introducción en los lugares de trabajo no genere nuevos riesgos a las personas usuarias o a terceras personas, ni provoque una respuesta de rechazo por parte de quien debe usarlos. En este sentido recomendamos revisar la NTP 1163: Exoesqueletos II: Criterios para la selección e integración en la empresa.

## 2. DEFINICIÓN DE EXOESQUELETO

Como se señalaba en el punto anterior, el término “Exoesqueleto” supone una extensa categoría donde se encuadran una amplia gama de dispositivos. Una definición extendida y aceptada es aquella que los describe como **“dispositivos externos portátiles (en inglés**

“wearable”, ya que se colocan sobre el cuerpo del usuario) utilizados con el objetivo de incrementar las capacidades” (Michiel P. de Looze, *Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load*, Ergonomics 2015).

Como vemos, la propia definición no es demasiado precisa debido a la diferente tipología de estos equipos, sus distintas formas y principios de funcionamiento y también a sus diferentes campos de aplicación. Es un ámbito, además, en constante y rápida evolución, lo que hace que cada día se diseñen y utilicen nuevos modelos con capacidades mejoradas y ampliadas.

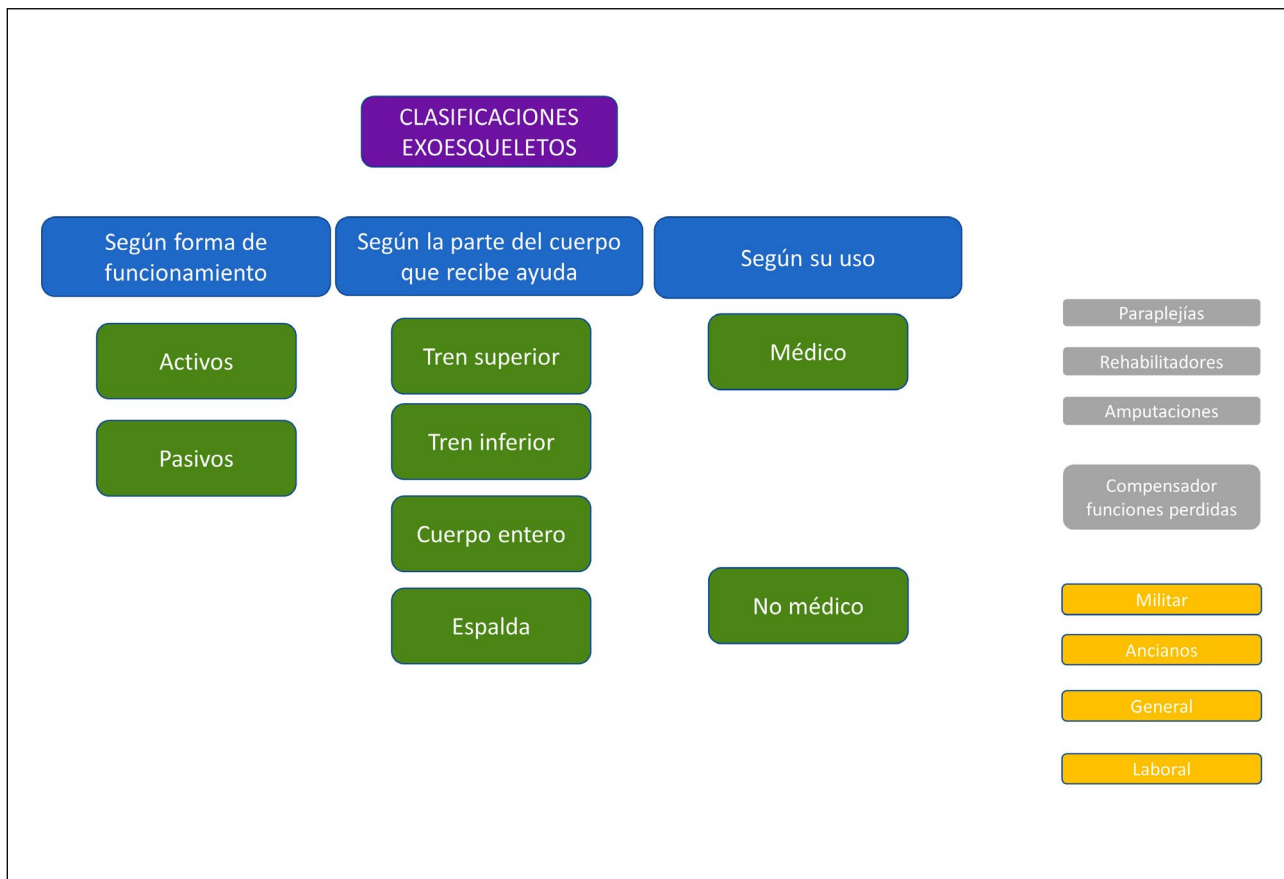
Para poder encuadrar estos equipos de una manera más clara, se exponen a una serie de clasificaciones, lo que permitirá conocer los grupos y aplicaciones principales de los exoesqueletos.

### 3. CLASIFICACIONES DE EXOESQUELETOS

que lleva a cabo el usuario, aumentando con ello su capacidad física o disminuyendo la fatiga. Muy frecuentemente son utilizados como ayuda en el manejo manual de cargas.

El uso de estos exoesqueletos activos supone una clara reducción de la carga física para el usuario. Sin embargo, suelen ser equipos pesados, siendo este factor una de sus limitaciones, y haciendo necesario que, en ocasiones, haga falta un apoyo añadido del dispositivo al suelo, con la intención de reducir el peso provocado por el propio exoesqueleto y soportado por la persona. Es una de las dificultades que hacen que su empleo no esté muy extendido hasta este momento.

Si bien, a día de hoy, no son los exoesqueletos más frecuentes en los puestos de trabajo, sí que, por sus características, son los más complejos y los que más consideraciones despiertan debido a, por ejemplo, los nuevos riesgos que podrían presentar para quien los utiliza. Este grupo es el relacionado con el aspecto de “máquina” o “robot”.



Esquema de las posibles clasificaciones de los exoesqueletos.

Una primera clasificación estaría basada en su **forma de funcionamiento**, pudiéndose agrupar en dos grandes bloques. Si bien existe la posibilidad de equipos híbridos, como tercer grupo, su existencia hasta la fecha es meramente testimonial:

- Exoesqueletos Activos.
- Exoesqueletos Pasivos.

#### Exoesqueletos Activos

Los exoesqueletos activos cuentan, entre sus componentes, con partes móviles accionadas por motores eléctricos o neumáticos, para ayudar en los movimientos

#### Exoesqueletos Pasivos

Como contraposición a los activos, estos exoesqueletos no cuentan con un aporte externo de energía que mueva partes del equipo. Por el contrario, utilizan la energía generada por el movimiento del propio usuario que, almacenada y repartida, servirá para reajustar la carga física soportada por diferentes segmentos corporales.

Son los que mayor implantación tienen a día de hoy estando dirigidos a disminuir las cargas que, especialmente a nivel lumbar, soporta la espalda. Se aprecia, en base a estudios llevados a cabo de forma experimental,

una reducción de la tensión soportada por la columna. Por otro lado, esa reducción se logra a base de desplazar el peso a otros segmentos del cuerpo; tal es así que se ha detectado un aumento considerable en la carga que deben soportar las piernas, lo que puede ser fuente de fatiga o molestias.

Una segunda posible clasificación se hace según la **parte del cuerpo** que recibe ayuda. Así, se encuentran:

- **Exoesqueletos de tren superior**  
Ayudan a soportar el peso de herramientas y brazos, en especial cuando se trabaja con estos, elevados por encima de los hombros. Algunos de ellos son específicos para las manos.
- **Exoesqueletos de tren inferior**  
Mejoran el desempeño de las piernas o permiten un apoyo continuado durante el desarrollo de la tarea.
- **Exoesqueletos de cuerpo entero**  
Mejoran las capacidades tanto del tren superior como del inferior.
- **Exoesqueletos de espalda**  
Ayudan a proteger la misma.

Finalmente, otra clasificación viene dada por la **finalidad de uso** de estos equipos.

#### Uso médico:

La medicina es uno de los campos de más temprano y mayor desarrollo de los exoesqueletos. Desde hace ya muchos años se utilizan para ayudar a la recuperación de funcionalidades perdidas o para suplirlas.

Hay que retroceder hasta 1890 para encontrar el primer ejemplo de utilización de este tipo de elementos: una patente estadounidense de un dispositivo para ayudar a caminar.

Estos esfuerzos en la búsqueda de ayudas que permitan una funcionalidad mayor o una recuperación de capacidades mermadas o perdidas han proliferado en distintos campos de la medicina.

El primero de ellos, por ejemplo, es el uso de exoesqueletos para paraplejías.

Su objetivo es recuperar la movilidad de miembros paralizados como consecuencia de alguna lesión traumática o por enfermedad. Si bien aún en un estado inicial de desarrollo, ya se pueden encontrar en el mercado exoesqueletos que permiten, por ejemplo, recuperar la función de ponerse de pie y caminar. Todavía existen problemas sin resolver en su diseño, como el elevado peso de los equipos. Si su finalidad es dotar de autonomía al usuario, no se deben utilizar cables como fuente de alimentación del exoesqueleto, luego habrá que recurrir a baterías más potentes que permitan ese mayor rango de movilidad. Pero estas baterías son pesadas, incrementando de manera importante el peso total del exoesqueleto, lo cual reduce su efectividad. Si se tiene en cuenta, además, que la duración de las baterías sigue siendo muy corta, es fácil entender por qué el uso de los exoesqueletos en este ámbito no se ha extendido más hasta el día de hoy.

Otro campo de aplicación de estos equipos es la rehabilitación.

Tras sufrir un trauma o un accidente cardiovascular que afecten al sistema nervioso central, se puede producir una limitación en la capacidad de caminar. Los

exoesqueletos intentan paliar esta pérdida a la vez que sirven o colaboran en el entrenamiento para la recuperación, en parte o de manera total, de la capacidad afectada.



El tercer ámbito de aplicación es en amputaciones, bien por causa traumática o por enfermedad, centrándose en suplir el órgano o miembro perdido.

#### Uso no médico:

Un amplio desarrollo de los exoesqueletos se ha venido dando en el terreno militar.

Lo que se busca en este ámbito al emplear estos equipamientos externos no es suplir funciones perdidas, sino mejorar el rendimiento de la persona, a la vez que disminuir la fatiga. Así, en el transporte manual de material pesado recorriendo largas distancias, el uso de estos exoesqueletos permitiría transportar, sin apenas fatiga, pesos de hasta 100kg. no obstante su uso sigue siendo limitado por la necesidad de baterías de larga duración (y, por ello, de peso elevado) para operaciones sobre el terreno, lo que reduce la efectividad final obtenida. Asimismo, los problemas en las articulaciones que soportan el peso del dispositivo y cómo evitar los mismos, constituyen otro gran reto en este campo.

#### En el campo del envejecimiento

El envejecimiento supone una merma en muchas capacidades físicas y se pierde fuerza, agilidad, movilidad etc. La finalidad de los exoesqueletos en esta área es complementar las funcionalidades disminuidas y permitir a la persona cumplir con el desempeño habitual de sus actividades diarias.

Además, se siguen diseñando exoesqueletos con una finalidad de uso general, con aplicabilidad en campos tan variados como el deportivo, entretenimiento o astronáutica.

Por último, estos equipos también se usan en el ámbito laboral. De ellos se van a ampliar detalles a continuación, y en la NTP 1163.

## 4. APLICACIONES LABORALES DE LOS EXOESQUELETOS

Uno de los factores de carga física, que pueden ser objeto de mejora mediante el empleo de los exoesqueletos, es el de Manipulación Manual de Cargas. El empleo de dispositivos pasivos, que permitan un reparto de la presión soportada por la columna lumbar, descargando parte de la tensión en las piernas, por ejemplo, o exoesqueletos

activos, que aporten la ayuda de un motor externo, pueden suponer una mejora clara en el desempeño de la tarea y en la salud de quien la lleva a cabo.

Muy relacionado con este factor de riesgo está también el de las posturas necesarias para llevar a cabo el trabajo. Posturas mantenidas o forzadas, manejando pesos o realizando esfuerzos, pueden verse mejoradas con la introducción de exoesqueletos.

En algunos puestos donde otras actuaciones prioritarias, como el rediseño del puesto o cambios organizativos no resultan viables (por ejemplo, en obras de construcción, tareas forestales, etc.) la introducción de exoesqueletos puede llegar a ser la única solución posible hoy en día.



En general, los que mayor implantación tienen actualmente son los exoesqueletos de tipo pasivo, dirigidos a disminuir las cargas que, especialmente a nivel lumbar, soporta la espalda. Se aprecia, en base a estudios llevados a cabo de forma experimental, una reducción de la tensión soportada por la columna. Pero también esa reducción se logra a base de desplazar el peso a otros segmentos del cuerpo; tal es así que se ha detectado un aumento considerable en la carga que deben soportar las piernas, lo que puede ser fuente de fatiga o molestias.



## 5. LEGISLACIÓN Y NORMALIZACIÓN

Un aspecto que afecta a todo tipo de exoesqueletos tanto activos como pasivos es el de los requerimientos que deben cumplir para su comercialización.

Por un lado, encontramos exoesqueletos con una finalidad médica regulados por la *Directiva Europea 93/42/CEE*

transpuesta a la legislación española y actualmente bajo lo señalado en el *Real Decreto 1591/2009, de 16 de octubre*, por el que se regulan los productos sanitarios. Por otro, los utilizados en el entorno laboral, que se pueden considerar bajo la regulación de la *Directiva de Máquinas 2006/42/EC*, transpuesta al derecho español en el *Real Decreto 1644/2008 de 10 de octubre*, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas. Son los exoesqueletos activos, con partes móviles accionadas por motores.

En cuanto a la Normalización, en estos momentos la ISO 13482 sería la referencia para los robots sanitarios. Si bien en el campo cercano de los robots colaborativos empieza a trabajarse desde la Normalización, por ejemplo ISO/TS 15066:2016 *Robots and robotic devices – Collaborative robots*, tan solo la norma ISO/DIS 18646-4(en) *Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 4: Lower-back support robots* toca directamente el apartado de exoesqueletos.

Esto, como ya se ha planteado, supone una dificultad para la extensión del uso de los exoesqueletos. La falta de normas internacionales hace más difícil cumplir con las obligaciones legales del fabricante, dificultando, además, la comercialización de estos equipos en el mercado único europeo.

## 6. DIFICULTADES DE IMPLANTACIÓN

Además de la ya apuntada carencia de normas, lo cierto es que el empleo de exoesqueletos plantea múltiples retos, especialmente en lo que se refiere a la Seguridad de los usuarios y la Ergonomía en su uso.

En cuanto a la Seguridad, no se puede olvidar que el uso de estos dispositivos supone una continua interacción con la persona, ocupando el mismo espacio durante el mismo tiempo de trabajo, debiendo acompañar los movimientos de la persona trabajadora, anticipando incluso las acciones imprevistas y sin provocar, a su vez, movimientos indeseados. Hay que considerar, también, cómo el portar estos dispositivos altera la cinestesia de la persona, modificando el equilibrio natural del cuerpo, o cómo pueden cambiar la respuesta ante un riesgo inminente dificultando esquivar un objeto móvil, por ejemplo, o la huida o evacuación por una vía de espacio reducido.

Hay que considerar, además, la posible interacción en el caso de utilización de un EPI y un exoesqueleto de manera simultánea. Así mismo, el riesgo ocasional generado por las baterías empleadas, los fluidos, etc.

Incluso, si se piensa en la conectividad de los dispositivos, en la internet de las cosas, habrá que tener en cuenta la posibilidad de un acceso no deseado al sistema y la toma del control desde una conexión externa (*hackeo*).

Por último, también pueden presentarse problemas que afectan a la ergonomía durante su uso. Ya se ha comentado que, al modificar la parte del cuerpo que recibe la carga, otras partes pueden recibir sobreesfuerzos. Por otro lado, como efecto contrario y derivado de la falta de ejercicio, puede producirse una disminución del tono muscular. Para evitarlo, debería estimarse un uso no prolongado y la realización de ejercicios de fortalecimiento de la parte afectada (zona abdominal, lumbar, etc.).

También se pueden encontrar otros efectos indeseados por el uso de exoesqueletos debido al incremento de trabajo cardiovascular, fruto del peso del dispositivo.

Asimismo, pueden darse sudoración o rozaduras en las zonas de apoyo del dispositivo. Se debe estar especialmente atentos a la adaptación del exoesqueleto a la



persona usuaria, en concreto desde una perspectiva de género, debido a las diferencias anatómicas a considerar, sobre todo en los apoyos en hombro, cintura o bandas pectorales.

## 7. CONCLUSIONES

Los exoesqueletos pueden ser una ayuda en la prevención de riesgos laborales, aunque es necesario mejorar su diseño y funcionalidades. Para ello, resulta esencial que haya avances en el terreno de la normalización, así como que la decisión de integrarlos en un puesto de trabajo sea fruto de una evaluación y una reflexión previas que garanticen que es la mejor solución posible, y que

se cuente con la opinión de las personas usuarias y de sus representantes.

No hay que olvidar, en ningún caso, los principios y jerarquía de las acciones preventivas y hacer hincapié en mejoras en el diseño de los puestos (utilizar ayudas mecánicas como manipuladores, por ejemplo) o en la organización de la tarea (cambio de actividad, pausas, etc.) antes que recurrir a otro tipo de medidas como pudieran ser los exoesqueletos.

Siguiendo la reflexión de NIOSH, llevada a cabo inicialmente en referencia a la utilización de fajas lumbares y luego ampliado a los exoesqueletos, "la forma más efectiva de prevenir lesiones de espalda es rediseñar el puesto de trabajo y las tareas para reducir el riesgo en la manipulación".

## BIBLIOGRAFÍA

**Brian D. Lowe, et al 2016: Wearable Exoskeletons to Reduce Physical Load at Work** NIOSH SCIENCE blog

Disponible en:

<https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2016/03/04/exoskeletons/>

**Michiel P. de Looze, et al 2016 Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load** Ergonomics Volume 59, 2016

Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00140139.2015.1081988?needAccess=true>

**Planas, Elvira et al 2020 Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos. Mitos, leyendas y certezas.** Mutua Universal.

Disponible en:

[http://trabajosaludable.mutuauniversal.net/export/sites/trabajo\\_saludable/es/publicaciones/202033/content/documentos/Folleto\\_ERGONOMIA-4.0-Y-EXOESQUELETOS\\_Mitos-leyendas-y-certezas\\_v2.pdf](http://trabajosaludable.mutuauniversal.net/export/sites/trabajo_saludable/es/publicaciones/202033/content/documentos/Folleto_ERGONOMIA-4.0-Y-EXOESQUELETOS_Mitos-leyendas-y-certezas_v2.pdf)

**Schick, Ralf 2019 KAN Brief Exoskeletons at work: everything safe and sound?** KAN Brief 3-19

Disponible en:

<https://www.kan.de/en/publications/kanbrief/exoskeletons/exoskeletons-at-work-everything-safe-and-sound/>

**Van der Vorm, et al 2015 ROBO MATE. White paper Considerations for developing safety standards for industrial exoskeletons**

Disponible en:

[http://www.robomate.eu/uploads/7/0/9/9/70997359/robo-mate\\_whitepaper\\_safety\\_standards\\_in\\_exoskeletons.pdf](http://www.robomate.eu/uploads/7/0/9/9/70997359/robo-mate_whitepaper_safety_standards_in_exoskeletons.pdf)

**Ministerio de Empleo y Economía Social.** Estadística de Accidentes de Trabajo 2019.

Disponible en:

[http://www.mites.gob.es/es/estadisticas/monograficas\\_anuales/EAT/2019/index.htm](http://www.mites.gob.es/es/estadisticas/monograficas_anuales/EAT/2019/index.htm)

**Ministerio de Inclusión, Seguridad Social y Migraciones.** Servicio Estadístico EEPP.

Disponible en:

[https://w6.seg-social.es/PXWeb\\_NCIP/pxweb/es/Enfermedades%20profesionales/Enfermedades%20profesionales\\_Cuadros%20Estad%20adsticos\\_Datos%20anuales\\_2-%20Partes%20cerrados\\_2-1-%20N%20c3%20bamer%20de%20partes/?rxid=2d9fc348-5076-490f-8303-915b2132ab6a](https://w6.seg-social.es/PXWeb_NCIP/pxweb/es/Enfermedades%20profesionales/Enfermedades%20profesionales_Cuadros%20Estad%20adsticos_Datos%20anuales_2-%20Partes%20cerrados_2-1-%20N%20c3%20bamer%20de%20partes/?rxid=2d9fc348-5076-490f-8303-915b2132ab6a)

**Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo.** Exoesqueletos laborales: dispositivos robóticos ponibles e impedirán que en el futuro se produzcan trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo.

Disponible en:

[https://osha.europa.eu/sites/default/files/publications/documents/MSDs\\_Occupational\\_exoskeletons\\_wearable\\_devices.pdf](https://osha.europa.eu/sites/default/files/publications/documents/MSDs_Occupational_exoskeletons_wearable_devices.pdf)

**Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo.** Encuesta europea de empresas sobre riesgos nuevos y emergentes (ESENER)

Disponible en:

<https://osha.europa.eu/es/facts-and-figures/esener>

**Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo.**

The Impact of Using Exoskeletons on Occupational Safety and Health EU-Osha

Disponible en:

<https://osha.europa.eu/en/publications/impact-using-exoskeletons-occupational-safety-and-health>

**ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices — Collaborative robots ISO**

Disponible en:

<https://www.iso.org/standard/62996.html>

**ISO/DIS 18646-4 Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 4: Lower-back support robots ISO**

Disponible en:

<https://www.iso.org/standard/75545.html>

**Real Decreto 1591/2009**, de 16 de octubre, por el que se regulan los productos sanitarios.

Disponible en:

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2009/10/16/1591>

**Real Decreto 1644/2008**, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

Disponible en:

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/10/10/1644>

**Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo**, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual.

Disponible en:

<https://www.boe.es/doue/2016/081/L00051-00098.pdf>