



# Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos

Mitos, leyendas y certezas



Autores:

Ana Elvira Planas Lara  
José Antonio Tomás Royo  
María Ducun Lecumberri

Laboratorio de Ergonomía  
I+D en Prevención

© Mutua Universal 1-8856070421. Ergonomía 4.0 y  
Exoesqueletos. Mitos, leyendas y certezas.

Mutua Universal – Mugenat, Mutua colaboradora con  
la Seguridad Social nº 10, 2020

Las Mutuas colaboradoras con la Seguridad Social en virtud de lo establecido en la Ley 35/2014, de 26 de diciembre, realizan actividades preventivas de la acción protectora de la Seguridad Social.

Parte de estas prestaciones asistenciales están dirigidas a asistir en el control y reducción de los accidentes de trabajo y de las enfermedades profesionales de la Seguridad Social.

Además, llevan a cabo el Plan de Actividades Preventivas anual, en cumplimiento del Real Decreto 860/2018 de 13 de julio y de las Resoluciones que, anualmente, publica la Secretaría de Estado de la Seguridad Social, cuya finalidad es dispensar orientación, información, asesoramiento y asistencia técnica.

En este marco de actividad, el Laboratorio de Ergonomía de Mutua Universal presenta este documento.

Se ha elaborado a partir de la experiencia en los últimos años en el estudio, análisis e investigación en la utilización de los exoesqueletos con nuestras Empresas Asociadas.

Esperamos que te sirva de ayuda.



# Índice

Ergonomía 4.0 .....	7
Qué es un exoesqueleto .....	9
Aplicaciones por sectores .....	10
Exoesqueletos industriales .....	11
Lo que debes saber .....	14
¿Realmente necesito un exoesqueleto? .....	16
Y si es necesario, ¿cuál es el adecuado? .....	18
¿Qué impacto puede tener? .....	20
¿Será válido para mi puesto de trabajo? .....	22
¿Cómo puedo facilitar su implantación? .....	24
Incertidumbres y retos .....	26



## Ergonomía 4.0

Los robots colaborativos, la realidad virtual y aumentada, el internet de las cosas, el análisis de datos y la fabricación aditiva, son algunas de las tecnologías englobadas en la llamada “Industria 4.0” o “Cuarta revolución industrial”.

La incorporación de estas tecnologías en nuestra vida cotidiana y en los lugares de trabajo nos lleva a afrontar diferentes retos y desafíos, y a plantearnos algunas reflexiones, en particular en el ámbito de la Prevención de Riesgos Laborales.

En la “Smart Factory” o “Industria Inteligente” toma gran relevancia la automatización completa de los sistemas y procesos productivos y la intercomunicación entre ellos. A pesar de ello, la Persona sigue siendo un factor fundamental en todo este proceso, integrándose y conectándose en el sistema, y apareciendo el concepto de “Trabajador 4.0”.

La Ergonomía 4.0, a través de dispositivos wearables, permite conectar a la persona para integrarla en ese entorno digital de la manera más eficiente y asegurarse de que su equipo de trabajo y, en general, todos los elementos del sistema estén distribuidos según los principios ergonómicos.



Bajo este concepto han aparecido unos dispositivos denominados “exoesqueletos” cuyo objetivo es hacer más fácil el trabajo a sus usuarios.

Alrededor de esta tecnología afloran algunos relatos que mitifican estos dispositivos y que los convierten, de alguna manera, en soluciones mágicas que carecen de fundamento y que elevan el valor que tienen en realidad.

Existen algunos mitos que dotan a los exoesqueletos de ciertos poderes como los siguientes:

*“Los problemas musculoesqueléticos se reducirán un 80%”*

*“Los trabajadores cargarán sacos de 50 kg sin fatigarse”*

*“Aumentará la producción con menos personal”*

Con el desarrollo actual de esta tecnología no se alcanzan estos extremos, pero sí que es cierto que están diseñados con el fin de ayudar al usuario en su puesto de trabajo, y que verdaderamente ayudan en el desarrollo de algunas tareas.

Es importante conocer qué son, para qué sirven exactamente, realizar un análisis profundo de su conveniencia y contar con las indicaciones acertadas de cómo introducirlos.

Por ello, el objetivo de este texto es ayudarte a decidir si un exoesqueleto es la solución más adecuada para el problema ergonómico que pretendes resolver. Y en caso de que lo sea, qué pautas debes seguir para que su implantación en el puesto de trabajo sea un éxito.

# Qué es un exoesqueleto

En la naturaleza, un exoesqueleto es el caparazón que recubre exteriormente el cuerpo de los artrópodos y otros invertebrados, que les sirve de protección y de sostén de su cuerpo.

Desde la antigüedad, el hombre ha utilizado armaduras para protegerse, a modo de exoesqueletos, especialmente en combate. De hecho, es en el ámbito militar donde comenzaron a desarrollarse los primeros exoesqueletos.

Un exoesqueleto artificial ayuda al aparato locomotor a realizar su función, de la misma manera que unas gafas ayudan al sistema visual y un audífono al sistema auditivo.

Aplicado a las personas, un exoesqueleto es un dispositivo de asistencia que trabaja conjuntamente con el usuario, ayudando a su aparato locomotor para realizar una determinada tarea.





## Aplicaciones por sectores

### Militar

Los exoesqueletos militares fueron diseñados y adaptados para proteger a los soldados en combate y en otras tareas propias del ejército. A lo largo del tiempo se han ido perfeccionando para aumentar su rendimiento.



### Médico

Los exoesqueletos médicos proporcionan fuerza motriz y movilidad a personas que han sufrido una reducción en su capacidad funcional, ya sea por deterioro de sus capacidades motoras o por un accidente.



### Industrial

Los exoesqueletos industriales se han diseñado para asistir a las personas en las tareas que desempeñan habitualmente en sus puestos de trabajo. Su objetivo es proteger y facilitar asistencia para prevenir esfuerzos excesivos, y minimizar la fatiga.



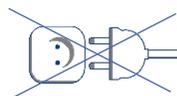
# Exoesqueletos industriales

Las funciones de los exoesqueletos industriales son, principalmente, compensar el peso de parte del cuerpo del usuario, de una herramienta o de una carga, y amplificar la fuerza para que el usuario guíe el dispositivo y ejerza fuerza conjuntamente con él.

Se pueden clasificar según su fuente de alimentación:

## Exoesqueleto pasivo

No tiene ninguna fuente de alimentación externa. Funciona a base de estructuras rígidas móviles, resortes y amortiguadores que distribuyen la carga desde la zona corporal más afectada hasta otras zonas corporales con grupos musculares más potentes.



## Exoesqueleto activo

Dispone de una fuente de alimentación externa que le proporciona energía por medio de baterías o pequeños motores eléctricos. Un software integrado en el dispositivo ofrece en cada momento la fuerza extra necesaria para asistir a los movimientos que efectúa la persona trabajadora.



También se pueden clasificar según la zona corporal a la que protegen:

## Exoesqueleto para Brazos

Ayuda a mantener los brazos elevados, descargando de tensión la zona superior de la espalda y de los hombros.

La estructura del exoesqueleto soporta el peso de los brazos y lo redistribuye desde los grupos musculares de los hombros hasta los grupos musculares de la espalda y, a la cadera.



## Exoesqueleto para Espalda

Ayuda a mantener la espalda inclinada, descargando de tensión y protegiendo la zona lumbar.

Actúa repartiendo el peso de la parte superior del cuerpo, antes soportada únicamente por la espalda, a la zona del pecho y a las piernas que disponen de grupos musculares más potentes.



## Exoesqueleto para Manos

Proporciona una fuerza extra a manos y dedos, para abrir y para cerrar la mano. Generalmente son exoesqueletos activos.

Pueden actuar articulando todos los dedos a la vez o por separado. Se activan cuando el guante detecta cierta presión al estar en contacto con un objeto.



## Exoesqueleto para Piernas

Permite mantener una postura semisentada, descargando la tensión de las piernas en puestos en los que se adoptan posturas de pie estáticas con pequeños desplazamientos.

La variación de la postura entre sentada y semisentada facilita el retorno venoso en las piernas y descarga la zona lumbar.





## Para qué sirve      Para qué no sirve

### Hombros



- ✓ Posturas estáticas con los brazos elevados de forma continuada.
- ✗ Manipulación y transporte de cargas.
- ✗ Trabajos que requieren subir y bajar los brazos de forma rápida y repetitiva.

### Lumbar



- ✓ Posturas con la espalda inclinada de forma prolongada.
- ✗ Trabajos con la espalda erguida.
- ✓ Manipulación de cargas a nivel de suelo.
- ✗ Trabajos en postura sentado.

### Piernas



- ✓ Posturas de pie con pequeños desplazamientos.
- ✗ Trabajos en postura sentada, como sustitutivo de una silla, taburete o apoyanalgas.

### Manos



- ✓ Ejercer fuerza de agarre mantenida.
- ✗ Trabajos que requieran movimientos rápidos con manos y dedos.

## Lo que debes saber

Al igual que cualquier nuevo equipo de trabajo, la introducción de un exoesqueleto conlleva cambios que generan un impacto tanto en la persona usuaria como en sus compañeros y entorno. Al afectar al desempeño general en la empresa, su introducción debería hacerse con cierta prudencia.

Antes de introducir un exoesqueleto, se sugiere considerar diferentes aspectos para valorar cuál es la mejor opción y comprobar la idoneidad del dispositivo.

Algunas cuestiones a plantearse son:

- ¿Realmente necesito un exoesqueleto?
- Y si es necesario, ¿cuál es el adecuado?
- ¿Qué impacto puede tener el exoesqueleto?
- ¿Será válido para el puesto de trabajo?
- ¿Cómo puedo facilitar su implantación?



## ¿Realmente necesito un exoesqueleto?

La Ley 31/1995, de Prevención de riesgos laborales en su artículo 15 “Principios de la acción preventiva” señala la aplicación, entre otros, de los siguientes principios:

- *Evitar los riesgos.*
- *Evaluar los riesgos que no se pueden evitar.*
- *Combatir los riesgos en su origen.*
- *Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.*

Bajo estas premisas, parece prioritario la implantación de medidas colectivas que incidan en el origen de los peligros para eliminar los riesgos antes de que aparezcan.

Si no fuera posible eliminar los peligros, se debería realizar una evaluación de los riesgos para obtener un buen diagnóstico que permita identificar los factores críticos con el fin de eliminarlos o minimizarlos.

Ante un riesgo ergonómico, la primera opción que debe barajarse y que elimina físicamente el riesgo en su origen, es el rediseño del puesto de trabajo.

Cuando el rediseño no es factible, inicialmente se sugiere trabajar en la implantación de otras medidas técnicas, como el uso de ayudas mecánicas, útiles y equipos de trabajo.

Posteriormente se pueden implantar otras medidas organizativas como son el establecimiento de pausas adecuadas o la rotación a otros puestos de trabajo.

La adopción de medidas individuales debe considerarse como última opción.

Un factor determinante para que cualquier intervención sea efectiva es proporcionar una formación apropiada de manera transversal a todos los niveles.



Un exoesqueleto puede considerarse un equipo de trabajo. Por tanto, se trata de una medida de segundo nivel que no debe sustituir a la implantación de medidas técnicas en el origen. Un exoesqueleto es una solución paliativa que no elimina el riesgo.

**Un exoesqueleto puede ser una opción cuando no exista una alternativa técnica que solucione el problema ergonómico, o ésta no sea viable**



## Y si es necesario, ¿cuál es el adecuado?

Los resultados de la evaluación del riesgo ergonómico ayudarán en la selección del exoesqueleto más idóneo para el puesto de trabajo.

Esta evaluación ergonómica específica debe realizarse en base a los métodos y criterios especificados por la normativa reglamentaria vigente. En ocasiones puede ser compleja, por lo que debe ser efectuada por un especialista.

Los resultados de la evaluación ofrecen información sobre la naturaleza de los factores de riesgo que se pretende reducir y las zonas corporales a proteger.

Al igual que cualquier gafa no sirve para todos los problemas de visión, no todos los exoesqueletos sirven para resolver todos los trastornos musculoesqueléticos.

De la misma manera que acudimos a un oftalmólogo para realizar un diagnóstico preciso y nos prescriba las lentes graduadas idóneas para nuestro problema, es altamente recomendable que un experto analice, valore y recomiende el tipo de dispositivo adecuado para solventar la problemática de la tarea que queremos mejorar.

La tecnología de los exoesqueletos evoluciona rápidamente, de ahí la importancia de disponer de información actualizada.

Algunos elementos determinantes en la selección de estos dispositivos son:

- Determinar qué zona corporal va a proteger y/o asistir.



- Verificar la compatibilidad entre la tarea para la que se precisa ayuda y la función para la que ha sido diseñado el exoesqueleto.
- Estudiar aspectos básicos del exoesqueleto relacionados con su usabilidad, confort, ligereza, adaptabilidad, facilidad de ajuste, etc.
- Analizar posibles impactos en la seguridad, la producción, la calidad de los productos y el entorno.

**El exoesqueleto adecuado es aquel que reduce el riesgo, es compatible con la tarea, cumple criterios de usabilidad y confort y genera el menor impacto negativo**



## ¿Qué impacto puede tener?

Un exoesqueleto es un dispositivo colocado sobre el cuerpo del trabajador y constituye un elemento que interfiere entre su cuerpo y el exterior. Podría tener, por tanto, un impacto interno sobre sí mismo y sobre el entorno.

### **Impacto en la persona**

El peso del dispositivo, sus estructuras rígidas, la resistencia que ofrecen los resortes y elementos mecánicos que forman parte del sistema de asistencia provocan unas fuerzas y unos pares de reacción sobre las articulaciones de la persona que lleva el exoesqueleto.

Estas fuerzas y pares podrían generar presiones en algunas zonas corporales y llegar a sobrecargar el sistema musculoesquelético de los usuarios.

Además, estos elementos ajenos al cuerpo podrían impedir que se realizaran las acciones con el menor esfuerzo posible y de una manera óptima y eficiente.

Un mal ajuste del dispositivo, la falta de flexibilidad y las carencias para transpirar de los tejidos y materiales que recubren las partes mecánicas podrían provocar también roces en la piel, sudor e incomodidad.

## Impacto en el entorno

El exoesqueleto podría interferir físicamente chocando o rozando con las instalaciones o invadiendo el espacio de otras personas, generando nuevos riesgos anteriormente no presentes.

En ocasiones, podría llegar a dañar el producto que se está confeccionando, afectando a la calidad del mismo. Incluso podría llegar a modificar los tiempos en los que se efectúa la tarea y repercutir negativamente en la producción.

La introducción de un exoesqueleto conlleva, además, la necesidad de prever los medios y recursos necesarios para su almacenamiento (espacio suficiente, armario, perchas), su mantenimiento (limpieza, puesta a punto, reparación) y la gestión de su utilización.

Se precisará contemplar los tiempos necesarios para su colocación, ajuste y retirada, así como valorar la necesidad de ayuda por parte de otra persona.

**Valorar el impacto que el exoesqueleto puede suponer sobre la persona y su entorno y cómo afecta a la seguridad, calidad y organización del trabajo**

---



## ¿Será válido para mi puesto de trabajo?

Los exoesqueletos disponibles en el mercado son efectivos para cumplir con las funciones mecánicas para las que han sido diseñados.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que las condiciones de laboratorio en las que los fabricantes realizan sus ensayos generalmente son diferentes a las condiciones reales de trabajo en las que se va a utilizar el exoesqueleto.

Por tanto, antes de incorporar un exoesqueleto, es conveniente:

- Evaluar el impacto “objetivo” del exoesqueleto sobre el cuerpo de la persona trabajadora, para constatar que no le provoque sobrecargas en ninguna zona corporal.
- Evaluar el impacto “subjetivo” del exoesqueleto sobre las condiciones de confortabilidad de la persona, para asegurarse de que son adecuadas y no perjudican a su salud y bienestar.
- Evaluar el impacto sobre la producción, el entorno y el producto elaborado, para garantizar que hay un equilibrio entre el beneficio que aporta y los posibles inconvenientes e interferencias.

Mutua Universal ha desarrollado una metodología de valoración de exoesqueletos, que combina los análisis objetivos y subjetivos tanto fuera como dentro del proceso productivo.

Se trata de un procedimiento de trabajo ordenado y sistemático que analiza y valora el desempeño con el exoesqueleto, siguiendo varias fases de trabajo, desde la búsqueda de los dispositivos más apropiados hasta su aceptación en la empresa.

Se emplean diversas técnicas objetivas de medición y cuestionarios de percepción subjetiva:

- Sistemas de captura de movimiento en 3D.
- Electromiografía de superficie.
- Dinamometría.
- Cuestionarios.



La valoración del exoesqueleto conlleva aspectos positivos y negativos. El balance entre unos y otros ha de ser muy positivo para que se considere válido en el puesto de trabajo.

**El exoesqueleto será válido para el puesto de trabajo si, tras su análisis, el balance final entre las mejoras que introduce frente a sus inconvenientes es positivo**



# ¿Cómo puedo facilitar su implantación?

Tras comprobar que la introducción del exoesqueleto es una decisión acertada y que ofrece unos beneficios claros frente a las incomodidades que puede ocasionar, la persona trabajadora es el eje principal para facilitar su implantación.

## Información e implicación

La información al trabajador, desde el planteamiento inicial del exoesqueleto como opción de mejora de las condiciones ergonómicas hasta su utilización habitual y voluntaria en el puesto de trabajo, es un factor decisivo para lograr su implicación y colaboración a lo largo de todo el proceso.

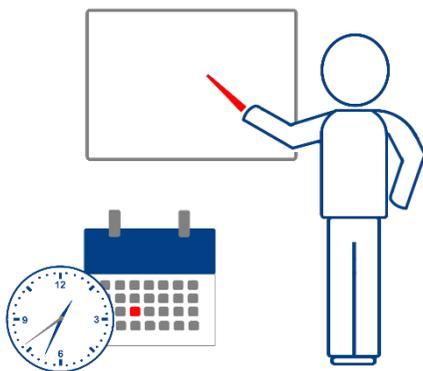
## Formación

Las personas que vayan a utilizar el dispositivo deberán recibir una formación suficiente y adecuada, centrada específicamente en el uso del exoesqueleto. Conocer sus prestaciones y características, aprender a regular el nivel de asistencia, aprender a colocárselo y quitárselo del cuerpo, así como los posibles nuevos riesgos que pueda generar.

## Adaptación progresiva

Los trabajadores deberán disponer de un exoesqueleto versátil, que ofrezca diferentes tallas que se ajusten a su antropometría. Un buen ajuste del dispositivo para conseguir una situación de confort facilitará la adaptación del exoesqueleto al usuario.

El usuario necesitará adaptarse de forma progresiva al uso del exoesqueleto para lograr desempeñar el proceso productivo con la misma eficiencia y productividad que sin él.



**Trabajadores informados, formados e implicados, así como el tiempo necesario para la adaptación al exoesqueleto y a la forma de trabajar con él facilitan su implantación**



## **Incertidumbres y retos**

Los exoesqueletos son una tecnología relativamente reciente que está en continuo desarrollo y evolución.

Esta circunstancia unida a la dificultad para realizar análisis largos y complejos, hacen que actualmente existan pocos estudios y evidencia científica sobre las consecuencias de utilizar exoesqueletos en el puesto de trabajo. Se plantean por tanto diversas incógnitas a resolver y retos a afrontar.

### **Vigilar posibles efectos secundarios**

Actualmente existe discusión sobre los posibles efectos adversos de los exoesqueletos a medio y largo plazo.

Algunos de ellos son los derivados de las reacciones e impacto sostenido en las articulaciones, la dificultad de riego sanguíneo en determinadas posturas inducidas por el exoesqueleto o la posibilidad de atrofia muscular en aquellas zonas que protege el dispositivo.

### **Regulación e integración**

Actualmente no existe una normativa aplicable de manera general a todos los exoesqueletos ya que no existe un consenso uniforme sobre su consideración.

La recomendación indicada por la Agencia Europea para la Seguridad y Salud es tratar cada tipo de exoesqueleto de forma individual en función de su uso previsto.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar al dispositivo, bien sea como equipo de trabajo, equipo de protección individual o equipo médico, deberá certificarse de acuerdo a la normativa o reglamentación correspondiente.

Por otro lado, el planteamiento del uso de los exoesqueletos debería ser exclusivamente desde un punto de vista preventivo y no de aumentar las solicitudes.

Otros aspectos en los que existe discusión tratan sobre su influencia en las evaluaciones de riesgo o en los criterios de referencia y las consecuencias que el uso de exoesqueletos tiene en la valoración del riesgo.

## **Evolución y desarrollo**

En un futuro cercano, además de optimizar sus prestaciones, los retos a los que se enfrentan los fabricantes de exoesqueletos incluyen mejorar su confort, reducir su peso, perfeccionar su mantenimiento para una mejor higiene o hacerlos más flexibles para adaptarlos a la persona como una segunda piel.

Los exoesqueletos son una tecnología nueva en continuo desarrollo, como otras tantas que forman parte de la Industria 4.0.

Es importante estar bien informado de sus ventajas e inconvenientes, no creer en falsos mitos o dejarse arrastrar por afirmaciones que carecen de fundamento.

La búsqueda y el análisis de los exoesqueletos es algo complejo que requiere un análisis riguroso y sistemático respaldado por especialistas.

Mutua Universal, pionera en la implantación de la ergonomía en las empresas y comprometida con la búsqueda de soluciones innovadoras dirigidas a reducir y prevenir los trastornos musculoesqueléticos, acompaña a sus empresas asociadas a lo largo de este proceso.