

PREVENCIÓN Y RETOS 4.0

**R-EVOLUCIÓN INDUSTRIAL:**  
MÁS SEGURA  
MÁS PRODUCTIVA  
MÁS HUMANA

# EXOESQUELETOS

## EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES



PREVENCIÓN Y RETOS 4.0

**R-EVOLUCIÓN INDUSTRIAL:**

MÁS SEGURA  
MÁS PRODUCTIVA  
MÁS HUMANA

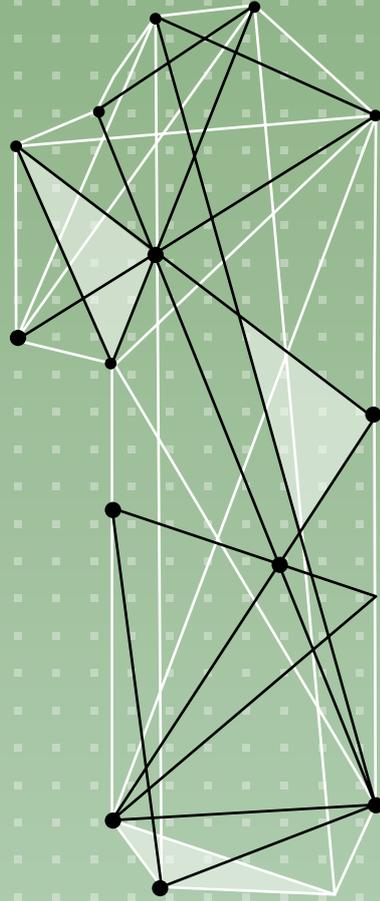
# EXOESQUELETOS

EN PREVENCIÓN DE  
RIESGOS LABORALES

## ÍNDICE



<b>1</b>	INTRODUCCIÓN	>>3
<b>2</b>	VENTAJAS DEL USO DE EXOESQUELETOS	>>8
<b>3</b>	CONSIDERACIONES PARA LA IMPLANTACIÓN DE EXOESQUELETOS EN LA EMPRESA	>>10
<b>4</b>	RIESGOS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN EL USO DE EXOESQUELETOS	>>16
<b>5</b>	RETOS Y DESAFÍOS	>>20



# INTRODUCCIÓN

## ¿Qué es?

Un exoesqueleto es un sistema mecánico-textil portado por una persona para realizar ciertas tareas, **a la que proporciona un suplemento de fuerza local en la espalda, hombros, codos, muñecas, etc., mientras realiza un movimiento específico**, por compensación de sus esfuerzos o por un aumento de sus capacidades motrices. De esta manera permite un incremento de la fuerza y/o asistencia en los movimientos o en las posturas.

Generalmente se utilizan para dar apoyo físico en tareas donde se adoptan posturas mantenidas y forzadas como, por ejemplo, posturas estáticas con brazos por encima de los hombros, manipulación de peso sostenido o manejo de cargas, que se desarrollan durante gran parte de la jornada laboral.

Existe una gran cantidad de modelos y cada uno de ellos cuenta con unas características específicas para cubrir unas determinadas necesidades: asistencia para enderezar la espalda, apoyo de brazos para mantenerlos elevados, etc.

Puesto que son de uso individual, deben adaptarse a la morfología de la persona a través de arneses ajustables. Además, como en cada puesto de trabajo y tarea se manejan cargas diferentes, requieren de un **ajuste de sus parámetros de fuerza para un peso y altura de trabajo dados**, los cuales vendrán establecidos por la persona.



## Clasificación:

Existen muchas categorías o clasificaciones en función del concepto al que se atienda:

### Parte del cuerpo con la que interactúa:

- **Cuerpo entero.**
- **Espalda.**
- **Extremidades superiores:** brazos, muñecas e incluso dedos.
- **Extremidades inferiores:** piernas, caderas, rodillas, tobillos, etc.



CUERPO ENTERO



ESPALDA



EXTREMIDADES SUPERIORES



EXTREMIDADES INFERIORES

### Fuente de alimentación empleada:



PASIVOS

- **Pasivos o sin alimentación eléctrica:** carecen de una fuente de energía eléctrica. En su lugar llevan muelles, bisagras o amortiguadores que pueden utilizarse para la redistribución del peso, captura de energía y/o amortiguación. No aportan una fuerza adicional, sino que hacen un reparto más equitativo del esfuerzo realizado redistribuyéndolo a zonas musculares más potentes, por lo que el músculo que inicialmente realiza el trabajo hace menos fuerza y se reduce la fatiga y el riesgo de lesión.

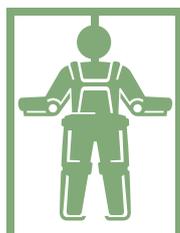


ACTIVOS

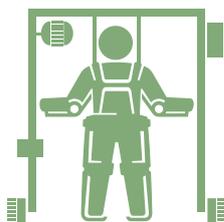
- **Activos o con alimentación eléctrica:** se alimentan con energía utilizando baterías o cables eléctricos conectados a una red de suministro para el funcionamiento de sus sensores y actuadores. Dentro de este grupo, encontramos los robotizados, todavía poco comunes. Se componen de una estructura mecánica que funciona gracias a motores eléctricos o sistemas hidráulicos. Se controlan con la ayuda de un ordenador integrado que detecta los movimientos del cuerpo humano ofreciéndole apoyo.

### Movilidad:

- **Fijo:** el dispositivo se encuentra fijado a una pared o soporte o, incluso, suspendido en el aire por un gancho fijo y un arnés.
- **Soportado:** el exoesqueleto se une a un carril elevado que está soportado por un bastidor móvil o por un robot de ruedas adyacente. De este modo los motores pesados, controladores y baterías son soportados externamente mientras siguen concediendo movilidad a la persona.
- **Móvil:** tanto la persona como el exoesqueleto pueden moverse libremente. Actualmente son los más utilizados.



FIJO



SOPORTADO



MÓVIL

### ¿Cómo funcionan?

El aporte de asistencia física del exoesqueleto se consigue aplicando un principio de restitución de la energía mecánica, **bien a través de sistemas elásticos o resortes, o bien a través de dispositivos electromecánicos**. El exoesqueleto actúa distribuyendo las cargas mecánicas que recibe. Así permite disminuir los esfuerzos en ciertas partes del cuerpo de la persona y transmitirlos a otras partes del sistema mediante diferentes vías:

- **Algunos están conectados al suelo o a un punto fijo;** en este caso, parte de las fuerzas se transfieren al exterior del cuerpo, por lo que se facilita levantar objetos pesados. Este tipo de técnica se encuentra fundamentalmente en exoesqueletos activos.
- **En otros, los esfuerzos siguen siendo totalmente respaldados por la persona** y solo se modifican la distribución y localización de los mismos (por ejemplo, los esfuerzos se redirigen a las piernas o zona lumbar). En este caso, deben observarse los estándares aplicables respecto a los límites de carga y las restricciones físicas para las tareas de manejo manual (postura, posición del cuerpo, tiempo que se mantiene, etc.).



Los exoesqueletos están introduciéndose en el sector industrial, en actividades de fabricación, montaje, manipulación, etc.

### Sectores de aplicación:

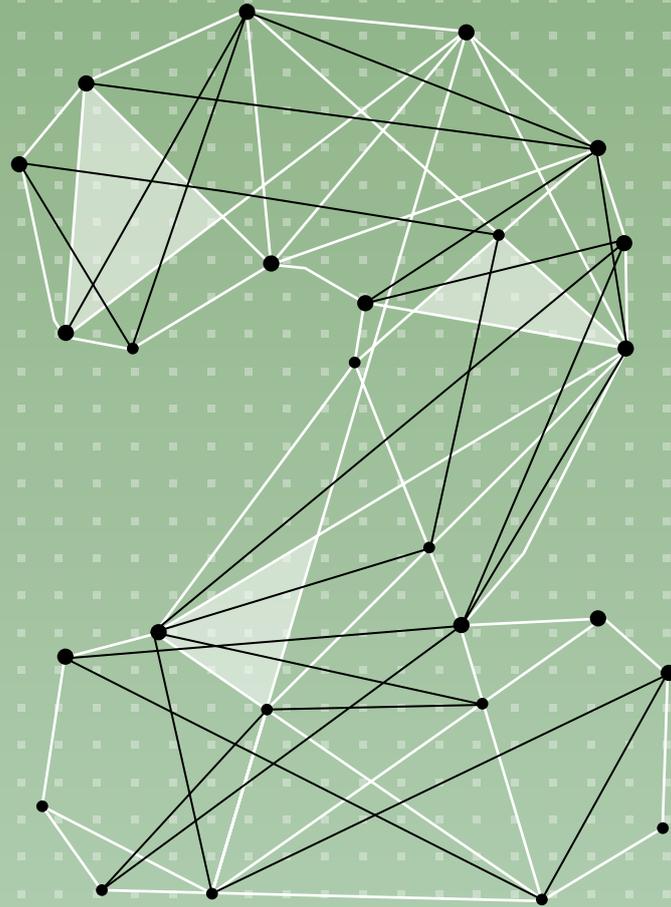
Los exoesqueletos presentan múltiples utilidades en función del modelo escogido y, debido a esta versatilidad, están presentes en sectores muy variados. Por ejemplo, los encontramos en el **sector sanitario**, donde participan en el tratamiento de pacientes con lesiones en la médula espinal, rehabilitación de la marcha, etc., también en el **campo militar**, donde cubren funciones de defensa, y en el **deporte y tiempo libre**, donde, por ejemplo, ayudan a los esquiadores a desplazarse durante más tiempo y con mayor intensidad, restando carga a las piernas.

**No obstante, esta guía pone el foco en el ámbito laboral, donde estos dispositivos encuentran aplicación.**

A continuación, se muestran algunos ejemplos de sectores y puestos de trabajo o actividades donde se utilizan exoesqueletos, debido a que se ejecutan tareas en las que se adoptan posturas forzadas o mantenidas y/o existe manejo de cargas:

- **Industria: fabricación, montaje, manipulación, etc.**
  - **Metal:** instaladores eléctricos.
  - **Automoción y subsectores auxiliares:** personal de cadena de montaje.
  - **Aeronáutica:** personal de fabricación y montaje.
  - **Construcción:** pintores, albañiles.
  - **Bienes de equipo y electrodomésticos:** personal de fabricación y montaje.
  - **Trabajos logísticos y de almacén:** personal de almacén.
- **Agrícola: levantamiento, empuje y arrastre de carga, flexión de tronco en tareas siembra, etc.**
  - **Apicultores:** cargan manualmente pesadas cajas.
  - **Recolectores:** bipedestación prolongada y posturas mantenidas de rodillas o en cuclillas.





# VENTAJAS DEL USO DE EXOESQUELETOS

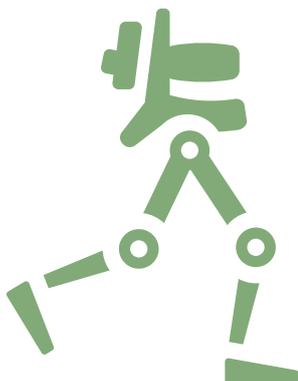
## ¿Por qué incluir exoesqueletos como elemento de apoyo a la PRL?

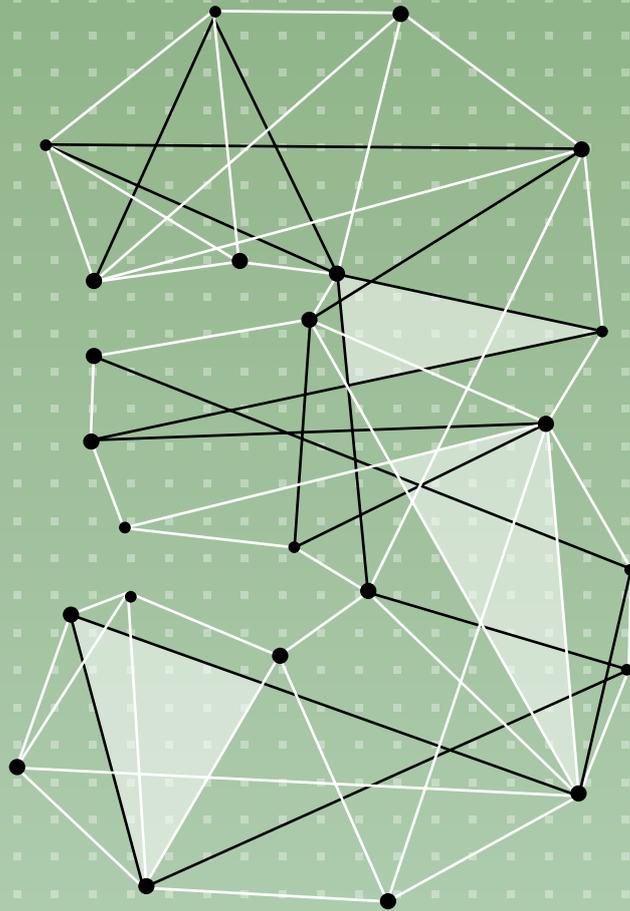
Estos dispositivos **ofrecen asistencia física** en aquellas tareas donde la carga física del trabajo sea elevada o se adopten posturas forzadas mantenidas, disminuyendo la tensión de los músculos implicados en tales tareas. De esta manera, **mediante un buen uso de los exoesqueletos, se contribuye a reducir la incidencia de trastornos musculoesqueléticos** o TME (especialmente de miembros superiores y lumbalgias) **y preservar la salud del personal.**

También pueden ser de utilidad en empresas durante las **fases de reincorporación de personas tras una ausencia por restricción médica**, para las que busquen **reducir el absentismo y la rotación del personal** o deseen adaptar las tareas a las capacidades de plantillas envejecidas, incorporando siempre la visión del área de Vigilancia de la Salud en el proceso.

Varios estudios sobre el uso de exoesqueletos no robotizados (*Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs état des connaissances, INRS, octobre 2018*) avalan estas ventajas, cuantificando la reducción de los esfuerzos que realizan las personas trabajadoras, y de los que se han obtenido ciertas conclusiones, entre las que se encuentran:

- **Los destinados a enderezar la espalda reducen los esfuerzos de los músculos lumbares** entre un 10 y un 40% en tareas de manipulación que operan en el plano sagital.
- **Los destinados a elevar los miembros superiores disminuyen la percepción del esfuerzo sobre los hombros** en más de un 50%.
- **En tareas de manipulación en flexión/extensión del tronco reducen las fuerzas de compresión sobre las vértebras lumbares** entre un 23 y 29%.
- **En tareas estáticas se puede alcanzar una disminución de la actividad de los músculos lumbares** en torno al 10-40%, un 24% de los músculos que movilizan la cadera y un 50% del cuello.
- Se ha observado un incremento significativo del tiempo durante el cual el personal de la sección de ensamblaje que mantiene el tronco flexionado hacia delante **no refiere dolor o molestia.**





# CONSIDERACIONES PARA LA IMPLANTACIÓN DE EXOESQUELETOS EN LA EMPRESA

A continuación, se introducen una serie de consideraciones a tener en cuenta para **acompañar eficazmente y de manera sencilla a la empresa en el proceso de decisión, adquisición e integración de un exoesqueleto**, asegurando que la introducción de la tecnología responda a sus necesidades reales, respetando los principios de seguridad y salud. Se basa en el documento Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise, (INRS, diciembre 2018).

En primer lugar, se recomienda llevar a cabo un estudio ergonómico, realizar mediciones ambientales, consultar la evaluación de riesgos de la empresa, los datos de salud de las personas trabajadoras (accidentes, incidentes, enfermedades profesionales, personal sensible) y gestión del personal (absentismo, rotación...).

Con los datos recogidos **se podrán identificar los procesos, situaciones, puestos de trabajo y tareas que pueden beneficiarse del uso de exoesqueletos**, que serán aquellas en las que predominan los riesgos por carga física, posturas forzadas prolongadas, tareas cíclicas, etc. Esto implica analizar en profundidad:

- **Esfuerzos físicos:** pesos desplazados y movimientos de arrastre y empuje, desplazamientos, facilidad de agarre.
- **Dimensiones de la situación de trabajo:** posturas y movimientos estáticos y dinámicos, posibilidad de ajustes de los equipos de trabajo, accesos y circulación.
- **Aspectos temporales:** frecuencia y duración de las tareas, periodos de recuperación.
- **Factores ambientales:** temperatura, humedad, ruido, iluminación, vibración, desniveles, uso de EPI, trabajo en interior o exterior, ambientes pulverulentos.
- **Características organizacionales:** horarios irregulares, secuencia de la actividad, ritmos de trabajo, formación de las personas trabajadoras en PRL, madurez tecnológica, posibilidades de modificación de los métodos de trabajo.





De este análisis se deben extraer y describir las tareas que pueden beneficiarse de la incorporación de un exoesqueleto.

En la siguiente etapa se evalúa la interacción persona-exoesqueleto en el puesto de trabajo, **definiendo los criterios objetivos para la adecuación de los exoesqueletos y las actividades a realizar por la persona usuaria**. Para determinarlos, podemos plantearnos las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las aportaciones y limitaciones de la tecnología?
- ¿Cuáles son sus riesgos y medidas preventivas correspondientes?
- ¿Qué zonas corporales van a estar más expuestas a la interacción?
- ¿Cuáles son las condiciones de operación de la tarea utilizando la nueva tecnología?
- ¿Qué ajustes específicos deben realizarse sobre la tecnología para tener en cuenta la variabilidad de tareas y la variabilidad individual de las personas trabajadoras (talla, género, edad)?

Los criterios de evaluación propuestos son:

- **Adecuación a la situación de trabajo:** fluidez del movimiento, trayectorias, manejo, duración de la tarea, aceptación social, percepción de los trabajadores.
- **Utilidad respecto a los objetivos de partida:** gestión de los tiempos de ciclo, calidad de la operación, eficiencia, duración de la actividad realizada con el exoesqueleto con respecto a la duración global de la tarea, percepción de los trabajadores.
- **Usabilidad:** facilidad de instalación, puesta en marcha para el uso, mantenimiento, limpieza, retirada, interacción con la persona, adaptabilidad a los diferentes escenarios de la tarea, percepción de los trabajadores.
- **Impacto o modificación de las estrategias operacionales y efecto sobre el entorno de trabajo:** integración, dominio de las nuevas estrategias, efectos sobre los trabajadores a nivel físico, cognitivo y de salud, efectos sobre el colectivo de trabajo (colaboración entre compañeros, repartición temporal de las tareas), percepción de los trabajadores.
- **Seguridad:** riesgos sobre el usuario, los compañeros y el entorno laboral, riesgos por la degradación del exoesqueleto, percepción de los trabajadores.

Como queda patente, es fundamental que cada uno de los criterios contemple la percepción y participación de los trabajadores.

**Las herramientas de evaluación pueden ser de dos tipos:** objetivas (medición de parámetros fisiológicos o físicos) o subjetivas (recogiendo la opinión del personal). Es interesante combinar ambas pues son complementarias. La elección de una u otra se realizará en función del criterio de evaluación, las dimensiones a medir, los recursos técnicos, humanos, temporales y económicos a emplear. A modo de guía se proponen algunas herramientas según el criterio evaluado:



Herramienta de evaluación	Criterio de evaluación				
	Adecuación	Utilidad	Usabilidad	Impacto	Seguridad
<b>Cuestionario nórdico:</b> Cuantifica el dolor y la molestia percibida.	X	X		X	
<b>Cardiofrecuenciometría:</b> Estima el gasto energético, y el estrés cardíaco.	X		X	X	
<b>Cronoanálisis:</b> Análisis temporal del trabajo.	X	X	X	X	
<b>Escala de Borg:</b> Cuantifica un esfuerzo percibido.				X	
<b>Autoconfrontación:</b> Verbalización por parte del trabajador de la actividad.					X
<b>Evaluación de riesgos:</b> Análisis de riesgos.	X		X	X	X
<b>Entrevistas:</b> Información sobre la parte no visible de la actividad.	X		X	X	X
<b>Diario de a bordo:</b> Recogida de datos sobre las actividades realizadas.	X			X	
<b>Cuestionarios:</b> Percepción sobre el puesto de trabajo.	X		X	X	
<b>Estudios psicosociales:</b> Evaluación de la carga mental.	X		X	X	
<b>Estudios ergonómicos:</b> Evaluación de la carga física.	X	X			X



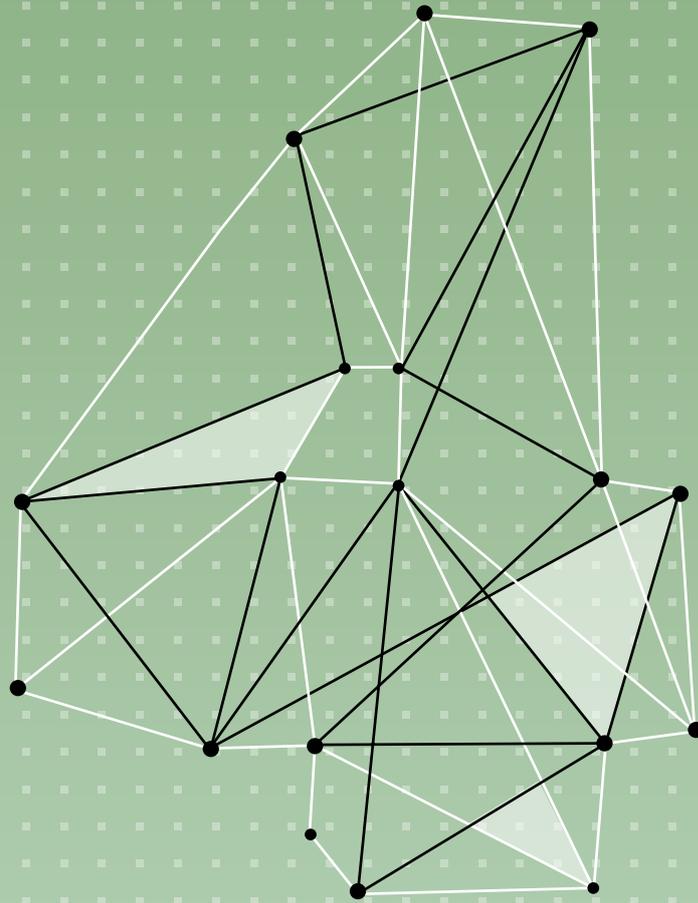
Es necesario realizar la evaluación con varios participantes, preferiblemente trabajadores que accedan al estudio de manera voluntaria. Además, otro tipo de consideraciones deben tenerse en cuenta. A continuación, se enumeran algunas:

- Modo de empleo.
- Tiempo máximo de uso permitido.
- Ligereza y libertad de movimientos (facilidad para caminar, trabajar de pie, estirarse, sentarse, mover y rotar hombros, etc.).
- Facilidad de integración, tiempo de aprendizaje.
- Mantenimiento.
- Autonomía o limitaciones por motores o baterías.
- Facilidad para poner/quitar.
- Tallaje disponible.
- Regulación de la carga.
- Efecto muelle, que obliga a compensar el empuje del mecanismo para modificar la postura de trabajo.
- Ajuste independiente a las extremidades.
- Posibilidad de integrar comando por voz/ intención de movimiento.

Es recomendable comparar la evaluación sobre la tarea realizada con y sin el exoesqueleto a incorporar y en el propio proceso.

En este punto la empresa dispondrá de los elementos de juicio suficientes para tomar una decisión razonada sobre la conveniencia de seguir adelante con la implantación y adquirir una solución ya disponible en el mercado, buscar una adaptación a medida o valorar otro tipo de soluciones.





# RIESGOS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN EL USO DE EXOESQUELETOS

A continuación, se describen los riesgos laborales derivados del uso de exoesqueletos y las medidas preventivas que contribuyen a minimizar dichos riesgos.

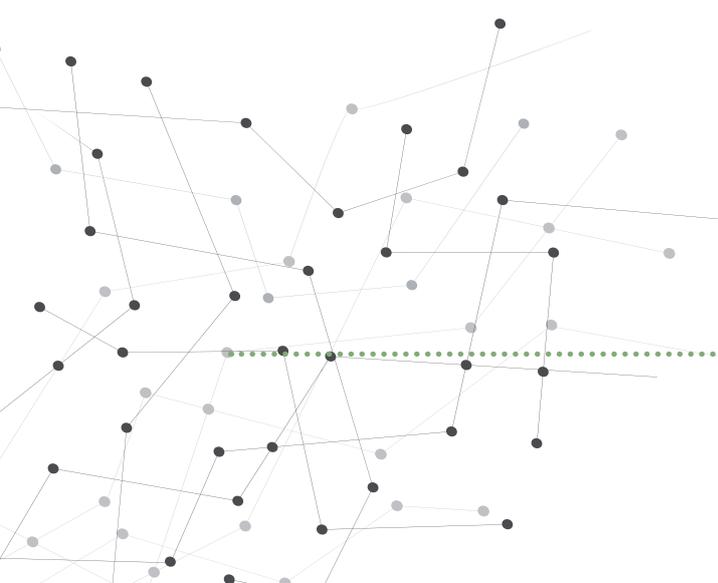
## RIESGOS

- **Choques o aplastamientos** con la propia persona usuaria, terceras personas o elementos fuera del campo de visión (componentes del proceso productivo adyacentes), por falta de espacio, visibilidad o poca maniobrabilidad en la ejecución de los movimientos.
- **Caída de la persona usuaria por desequilibrio** (nueva distribución de las masas, posiciones del cuerpo o segmentos corporales, inercia, etc.), movimientos incontrolados, problemas de equilibrio estático y dinámico y de propiocepción (capacidad de sentir la posición relativa de las partes corporales), tanto en la fase de uso o al retirar el exoesqueleto.
- **Disconfort o rozaduras** por presiones mantenidas o fricciones de elementos del exoesqueleto con partes del cuerpo de la persona usuaria debido a una talla inadecuada, mal ajuste, uso prolongado, movimientos de rangos excesivos, etc.

## MEDIDAS PREVENTIVAS

### Seguridad

- Realizar una valoración previa de la situación de trabajo y de las necesidades reales antes de decidir qué tipo de equipo se va a incorporar.
- Elaborar una evaluación de riesgo previa a la integración y específica para el personal en particular que utilizará el exoesqueleto en las condiciones concretas de operación.
- Seleccionar el exoesqueleto adecuado y realizar los ajustes necesarios.
- Prever una fase de testeo fuera de la situación de producción y, a continuación, en situación real de trabajo. Tener en cuenta factores como espacio, zonas de circulación, reorganización de tiempos de trabajo y de equipación, redistribución de las cargas, visibilidad, etc.
- Formar a la persona usuaria en la colocación y retirada, regulación y ajustes del exoesqueleto, incluyendo bloqueo/desbloqueo de elementos, etc. Determinar límites de uso y garantizar la movilidad para el desempeño de la tarea. Entrega de instrucciones y procedimientos.
- Establecer un período de adaptación de la persona usuaria al uso de equipo seleccionado hasta controlar su nueva propiocepción y desarrollar los trabajos con fluidez.



## RIESGOS

- **Disconfort térmico** por el uso mantenido del exoesqueleto.
- **Condiciones higiénicas inadecuadas** por efecto del uso de un mismo equipo entre varias personas.

## MEDIDAS PREVENTIVAS

### Higiene

- Selección de exoesqueleto con elementos textiles adecuados que permitan la transpiración y ventilación de las partes del cuerpo en contacto.
- Evaluar las condiciones ambientales de trabajo y establecer medidas oportunas: propiciar la ventilación, instalar y mantener adecuadamente sistemas de climatización, proporcionar ropa de trabajo adecuada, alternar la realización de tareas.
- Mantenimiento adecuado del exoesqueleto y de sus elementos complementarios después de cada uso. Limpieza periódica de los mismos.
- Los elementos textiles del exoesqueleto (en contacto con la persona) serán de uso exclusivo personal.

### Ergonomía

- **Disconfort, compresiones de músculos o nervios, y/o irritaciones en la piel** por contacto directo o presión mantenida. Posible incompatibilidad con ciertos implantes o prótesis de la persona usuaria.
- **Dificultades en su colocación** al ponérselo y quitárselo.
- **Aumento del ritmo cardiovascular** por el peso del exoesqueleto y la realización de ciertos movimientos.
- **Aumento de la carga física global** debido al peso y volumen del exoesqueleto.
- Selección de exoesqueleto con características adecuadas a las personas usuarias, considerando sus características personales (talla, uso de implantes o prótesis, etc.).
- Formar a la persona usuaria en la colocación y regulación del exoesqueleto.
- Establecer un período de adaptación de la persona para la colocación y retirada del exoesqueleto y ajuste de sus elementos.
- Valorar la implantación de programas de ejercicios para el fortalecimiento muscular.





## RIESGOS

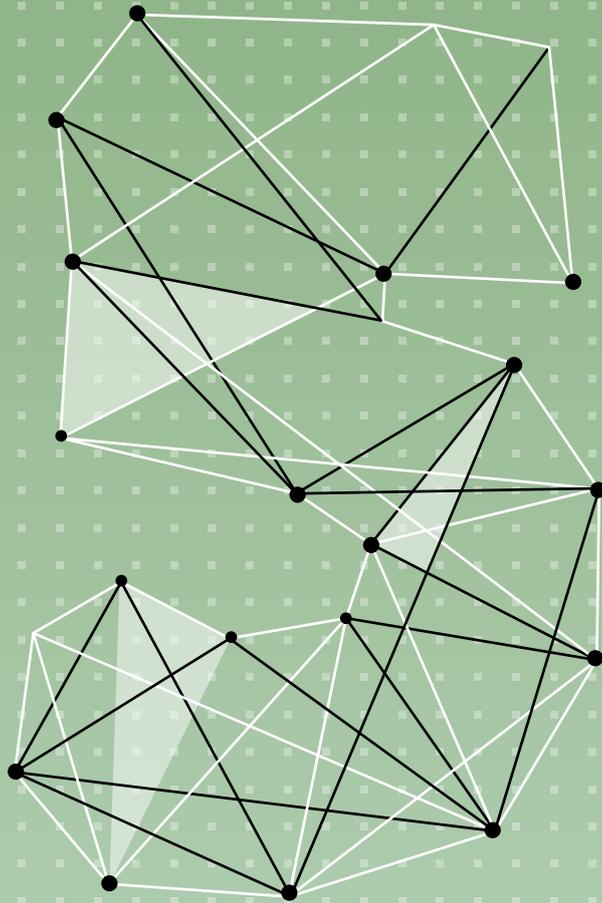
## MEDIDAS PREVENTIVAS

### Ergonomía

- **Lesiones articulares** por rebasamiento de los límites fisiológicos del operador.
  - **Riesgos ergonómicos** derivados de la perturbación del movimiento por modificación de la repartición de las masas y de la inercia del operador, así como de movimientos incontrolados.
  - **Trastornos sensoriales** (tacto, percepción de fuerza y control de movimientos...), reducción de la masa muscular, trastornos del equilibrio (postura, movimientos trabados, etc.).
  - **Desplazamiento de ciertas restricciones** a otras partes del cuerpo originando TME por ejemplo lumbalgias en el uso de exoesqueletos de miembros superiores.
  - **Desadaptación muscular** por inmovilización o reducción de la movilidad de una articulación.
- Selección de exoesqueleto con características adecuadas a las tareas, considerando preferiblemente, los de peso ligero para limitar la carga física y los de menor volumen de forma que faciliten la movilidad y permitan la maniobrabilidad en el espacio de trabajo.
  - Elaborar una evaluación de riesgos previa, específica para la persona usuaria que utilizará el exoesqueleto en las condiciones concretas de operación.
  - Determinar límites de uso (carga, tiempo y rangos de movimiento) que garanticen la movilidad para un desempeño cómodo de la tarea sin sobrepasar límites de esfuerzos. Adaptar la rigidez del exoesqueleto en caso de manipulación de cargas pesadas.
  - Establecer períodos de utilización máximos alternando con tareas físicas en las que no se utilice el exoesqueleto.

### Psicosociología

- **Sensación de pérdida de control y autonomía.**
  - **Aumento de estrés y fatiga cognitiva** por incremento de exigencias de atención y concentración, así como puesta en cuestión de la experiencia de la persona trabajadora, presión de tiempos, etc.
  - **Incidencia sobre la pericia** de las personas trabajadoras por la necesidad de reajuste de habilidades motrices y sensitivas.
- Sensibilización y formación de las personas trabajadoras para facilitar la aceptación y disminuir los riesgos. Incluir a las personas que colaboran en la tarea, por ejemplo las que ayudan en la colocación del exoesqueleto.
  - Contemplar una fase de adecuación de las personas trabajadoras para desarrollar las nuevas habilidades requeridas.
  - Fomentar la integración en el proceso productivo.



# RETOS Y DESAFÍOS



Los exoesqueletos presentan una serie de retos y desafíos todavía por abordar.

#### Riesgos por TME:

- **Los exoesqueletos no son válidos para todas las personas.** Hay que considerar la morfología de cada persona (altura y peso), su historial de problemas musculoesqueléticos, cardiovasculares, respiratorios o cutáneos, así como factores de género y edad y **hacer un estudio previo de las características personales y del exoesqueleto para detectar incompatibilidades.** Se desaconsejan para personas con problemas activos de espalda, hernias y prótesis o que lleven marcapasos o implantes.
- A pesar de que los exoesqueletos ofrecen asistencia física, **añaden a la persona trabajadora una carga adicional debido a su propio peso.** Se debe tener en cuenta este dato ya que, si no se ajustan los parámetros adecuadamente, podría aumentar el esfuerzo físico global a realizar por la persona. Actualmente se trabaja en la fabricación de exoesqueletos con materiales ligeros como el aluminio y materiales compuestos. De la misma manera se está desarrollando un tipo de "exoesqueleto blando". Se trata de un traje que reduce considerablemente la energía que el portador consume al utilizarlo. Esta prenda de vestir ligera supone un mayor ahorro metabólico en comparación a los exoesqueletos tradicionales.
- **Escasa fluidez de movimientos para la persona portadora.** Por ejemplo, durante el uso de exoesqueletos pasivos de extremidades superiores, la muñeca puede sufrir si el brazo está estirado. Para evitarlo, puede utilizarse un extensor que proporcione un refuerzo adicional en esta zona. No obstante, en determinadas operaciones dicho extensor puede restringir el movimiento.
- **No existen estudios sobre los potenciales impactos de aumentar su tiempo de uso o los efectos a largo plazo.** Actualmente, el tiempo de utilización está limitado a unas pocas horas al día (2-4 horas), no pudiéndose usar durante toda la jornada. Pasado este tiempo y una vez retirado el exoesqueleto, la persona puede notar una sensación similar a la de flotar, por lo que necesitará de cierto tiempo antes de comenzar otra tarea. Por otra parte, se plantea la posibilidad de que pueda haber una pérdida de masa muscular asociada a su uso porque determinadas zonas musculares dejan de ejercitarse. Los músculos podrían debilitarse, perder tono muscular y con ello se podría incrementar el riesgo de lesión.



- **Los exoesqueletos se asocian a la disminución de TME**, sin embargo, no siempre será posible alcanzar ese objetivo. Esto se debe a que los TME se desarrollan por varias causas (repetitividad de gestos, posturas restrictivas, esfuerzos, estrés, etc.) y los exoesqueletos no actúan sobre todas ellas. Por ejemplo, resultan de ayuda en las tareas cíclicas pero no resuelven los efectos derivados de los movimientos repetitivos. En general, los pasivos reparten el esfuerzo a zonas musculares más fuertes, desplazando la tensión hacia músculos menos solicitados. Algunos estudios han identificado una serie de riesgos que pueden incrementar la carga física y mental, y **han observado que los factores de riesgo ergonómicos relacionados con la actividad y fuerza muscular, la postura y movimientos que realiza la persona trabajadora, pueden verse alterados como consecuencia de llevar un exoesqueleto.**

#### Riesgos psicológicos:

- **El uso de exoesqueletos puede provocar estrés.** Un estudio realizado en el sector automoción revela que utilizar un exoesqueleto superior de volumen considerable provoca estrés en la persona y **resulta significativamente molesto.** No obstante, se pone en valor el beneficio de reducir las afecciones y lesiones en los hombros frente a la incomodidad y el estrés generados al utilizarlo. **Por ello, se hace patente la importancia de que los exoesqueletos sean ligeros, cómodos y adaptables a su portador.** Este punto cobra especial importancia cuando se utilizan en tareas que se ejecutan en espacios reducidos. La solución pasa por desarrollar exoesqueletos de menor tamaño y más ajustados al cuerpo.
- **Previo a su utilización, debe impartirse formación sobre cómo colocarse o retirarse el exoesqueleto, cómo ajustarlo y mantenerlo, además de otra específica sobre manipulación manual de cargas y para evitar posturas forzadas.** Es entonces cuando se puede proceder a trabajar con él, existiendo un periodo de adaptación, en el que la persona tendrá que aprender a trabajar y moverse de manera diferente. Este periodo de formación y adaptación puede conllevar cierto estrés.



### Limitaciones tecnológicas:

- **Falta de autonomía energética en el caso de exoesqueletos activos.** El tiempo de uso limitado también está sujeto a la duración de las baterías.
- **Los exoesqueletos tienen que ajustarse para los diferentes pesos a manejar.** El equipo se regulará en función de la sensación de peso que perciba la persona. Dicha sensación es subjetiva y si la persona la infravalora o sobrevalora, el equipo puede ajustarse erróneamente y causar daños.

### Normativos:

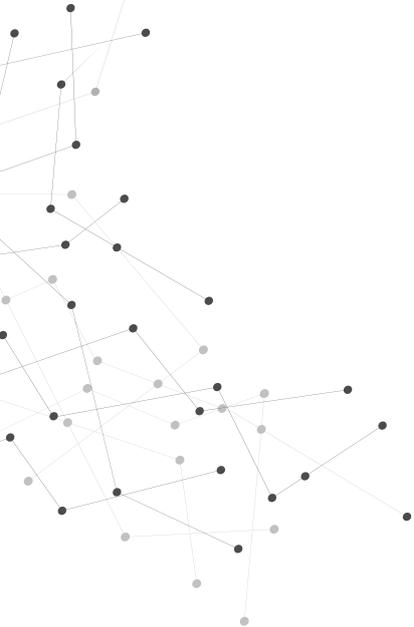
- La Guía Técnica de Manipulación Manual de Cargas realizada al amparo del Real Decreto 487/1997 establece que **el peso máximo a cargar para la población general en condiciones ideales es de 25 kg, 15 kg para mujeres, jóvenes o mayores y 40 kg para personas entrenadas en circunstancias especiales.** A pesar de que el exoesqueleto podría amortiguar el efecto de estos pesos máximos, la normativa no contempla incrementar la carga máxima a elevar.
- **No están considerados EPI en la Unión Europea.** A pesar de sus potenciales beneficios en el ámbito laboral, todavía no existe una legislación que los regule, ni una norma de diseño técnico o procedimiento de certificación que permita considerar o comercializar este producto como EPI. Sin embargo, y puesto que están siendo utilizados en las empresas, **el uso del exoesqueleto debe integrarse en la evaluación de riesgos**, donde se analizan sus potenciales impactos y definen las medidas de prevención correspondientes.



**Complementariamente, en el campo de la I+D+i, los exoesqueletos nos transportan a nuevos horizontes:**

- En el sector de la automoción se están realizando pruebas con exoesqueletos pasivos como el **chairless chair** (silla sin silla). Se trata de un ingenio de una startup suiza que se afianza en la cintura, rodillas y pies, **permitiendo sentarse o, más bien, reclinarse, a personas que antes debían trabajar de pie en espacios donde no cabía un asiento tradicional.**
- **Una multinacional de productos electrónicos y eléctricos ha lanzado al mercado un exoesqueleto, pensado para ayudar a los empleados de fábricas o almacenes, que es capaz de comunicarse con otros robots.** Su sistema de comunicación inalámbrica le permite estar conectado a otros robots o sistemas industriales creando una “red de trabajo inteligente”.





## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a las empresas que han aportado su experiencia y conocimiento en la elaboración de la presente guía.

Y trasladar una mención especial a:

**GOGOA**  
**CFZ ROBOTS**

Por su inestimable colaboración, participación y exposición de su caso en la implementación de tecnologías habilitadoras dentro de la Industria 4.0.

PREVENCIÓN Y RETOS 4.0

**R-EVOLUCIÓN INDUSTRIAL:**

MÁS SEGURA  
MÁS PRODUCTIVA  
MÁS HUMANA

# EXOESQUELETOS

EN PREVENCIÓN DE  
RIESGOS LABORALES

[www.prlcuatropuntocero.es](http://www.prlcuatropuntocero.es)

