



¿Cómo puedo incorporar un exoesqueleto en mi organización y qué exoesqueleto sería el más adecuado?

Mercedes Sanchis Almenara, Sofía Iranzo Egea, Juanma Belda Lois, Alicia Piedrabuena Cuesta, Alberto Ferreras Remesal, Sandra Alemany Mut, Enric Medina Ripoll, Raquel Ruiz Folgado

Instituto de Biomecánica (IBV).
Universitat Politècnica de València.
Edificio 9C. Camino de Vera s/n.
(46022) Valencia. España

Si bien las nuevas tecnologías han supuesto un incremento importante en relación a la automatización de procesos en el sector industrial, todavía existen puestos de trabajo que requieren de una elevada carga física. Esto, unido al envejecimiento de la población trabajadora, hace que soluciones como los exoesqueletos estén cada vez más presentes en las organizaciones. Seleccionar y ajustar bien los exoesqueletos atendiendo a las características de la tarea y la persona es clave para garantizar un efecto positivo del mismo, tanto desde el punto de vista de la carga muscular como de la aceptación por parte de las personas trabajadoras.



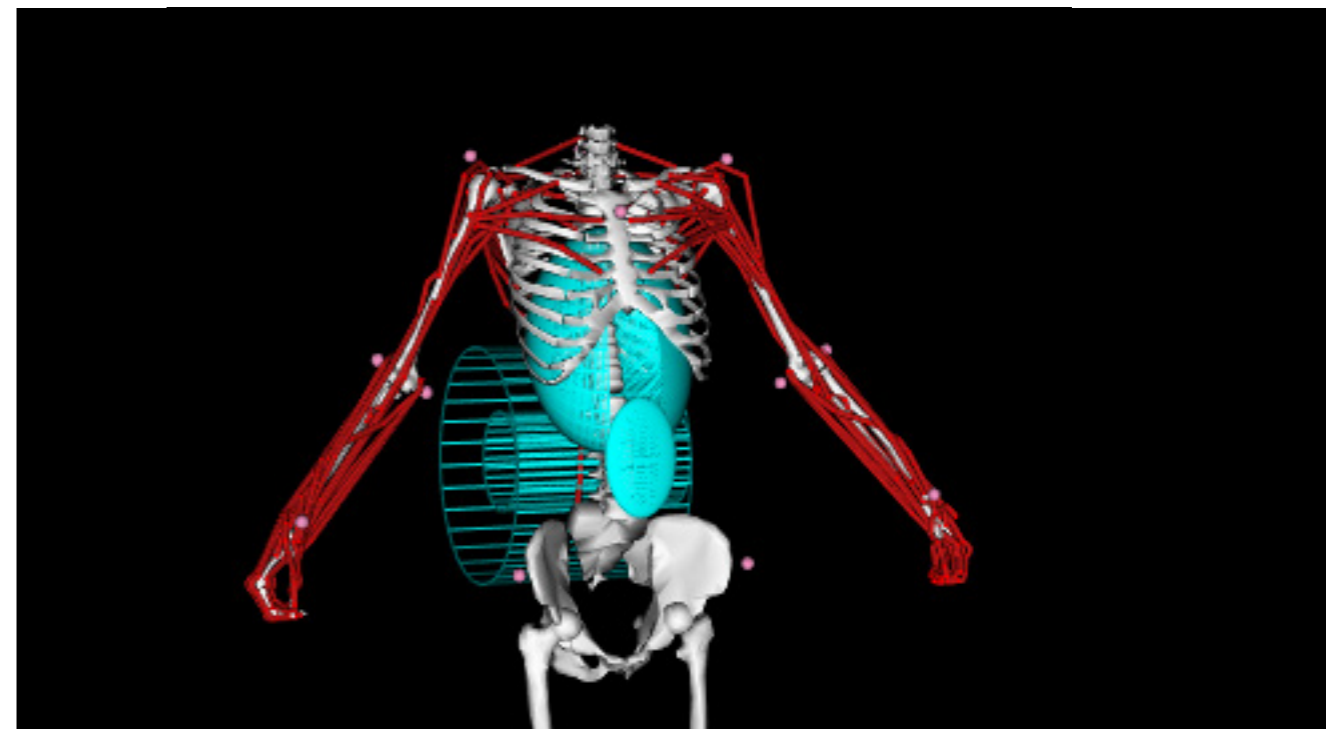
INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos requeridos para la realización de ciertas tareas laborales, incluso en algunos casos en los que el riesgo ergonómico es tolerable de acuerdo a las metodologías de evaluación actuales, puede acarrear discomfort y molestias en algunos segmentos corporales. Sobre todo, en aquellos casos en los que las personas trabajadoras adoptan posturas inadecuadas o deben manipular cargas.

Como posible ayuda para la mejora del confort y la reducción de molestias musculares, en los últimos años se han introducido, principalmente en el sector industrial, los exoesqueletos pasivos, cuyo objetivo es reducir la carga muscular de los segmentos corporales que entran en juego durante la realización de ciertas tareas. Existe un amplio abanico de modelos comerciales dedicados a diferentes articulaciones, como por ejemplo modelos para la reducción de la carga lumbar, de soporte para miembro inferior (chairless chair) o dispositivos de miembro superior, que descargan tensión en hombros y brazos.

Es necesario destacar que además de los exoesqueletos pasivos, que son actualmente los más ampliamente conocidos en el ámbito laboral, se han desarrollado también exoesqueletos semiactivos, los cuales cuentan con actuadores que ejercen una fuerza ayuda en la realización de ciertos movimientos de las personas trabajadoras.

El presente texto pretende dar luz sobre cómo abordar la integración de un exoesqueleto pasivo en una empresa o qué aspectos deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar un exoesqueleto semiactivo.





DESARROLLO

El conocimiento con el que cuenta el Instituto de Biomecánica (IBV) en relación al ser humano y su comportamiento le ha permitido abordar el estudio de los exoesqueletos desde diferentes perspectivas.

Por un lado, se han realizado estudios con empresas interesadas en implantar este tipo de dispositivos en sus procesos productivos, identificando el efecto de los mismos sobre la actividad muscular y la realización de la tarea laboral; y, por otro lado, se ha trabajado junto con empresas fabricantes de exoesqueletos en diferentes aproximaciones atendiendo a la problemática concreta de su producto.

A continuación, se describe cómo se han llevado a cabo dichos estudios y los resultados obtenidos de los mismos.

Incorporación de exoesqueletos en una tarea laboral

Abordar la incorporación de exoesqueletos en los procesos propios de una organización, sea cual sea el sector, pasa por las siguientes fases:

FASE 1. Identificación del exoesqueleto más apropiado atendiendo a las características de la tarea

Tal y como se ha comentado anteriormente, el tipo de exoesqueleto más adecuado para cada tarea dependerá de la actividad concreta que deban realizar las personas trabajadoras y de los grupos musculares que entran en juego.

En este sentido, antes de trabajar en la implantación de un exoesqueleto en una empresa, es necesario conocer: para qué tarea o tareas en concreto se va a utilizar, qué movimientos se realizan durante esas tareas, qué grupos musculares están implicados y qué otras tareas- aunque sean menos frecuentes - se realizan en el puesto (por ejemplo, si debe conducir un vehículo, subir y bajar escaleras, etc.).

Toda esta información permitirá identificar el o los exoesqueletos más adecuados de los existentes en el mercado.

FASE 2. Estudio de campo: Evaluación de las prestaciones del exoesqueleto

Una vez identificado el exoesqueleto más adecuado, será necesario llevar a cabo una serie de pruebas en el puesto de trabajo que permita analizar, por un lado, el efecto del exoesqueleto sobre la actividad muscular de las personas y los movimientos realizados durante la ejecución de las tareas; y, por otro lado, la aceptación o no del uso del mismo durante su jornada laboral por parte de los trabajadores y trabajadoras.

- Con el objetivo de analizar la **carga muscular** se suele utilizar electromiografía de superficie (EMG) y se analiza la activación muscular durante la realización de la tarea con y sin exoesqueleto, buscando si existe una disminución de dicha activación durante la realización de la misma tarea cuando la persona está utilizando el exoesqueleto. Una disminución de la activación muscular conllevará una reducción de la fatiga.



- La **captura de movimientos** se realiza mediante sensores inerciales que permiten comparar los movimientos durante la realización de la misma tarea con y sin exoesqueleto y comprobar así que el uso de los mismos no implica un riesgo por adoptar posturas inadecuadas.
- Finalmente, se realiza una **encuesta a las personas participantes** en el estudio con el objetivo de conocer su opinión sobre el uso del dispositivo, si lo percibe como una ayuda y si lo utilizaría durante su jornada laboral, entre otras cosas.

FASE 3. Análisis de resultados

Una vez finalizado el estudio de campo, se analizan los resultados obtenidos tanto de las medidas objetivas como de las encuestas, con el objetivo de obtener conclusiones sobre la idoneidad de incorporar el exoesqueleto testado en la realización de la tarea laboral concreta.

En este sentido, el IBV ha desarrollado un modelo biomecánico mediante el cual, a partir de la introducción de los datos de movimiento y medidas antropométricas de los participantes en el estudio, es posible realizar simulaciones de las que extraer información que no es posible medir de forma directa durante el desarrollo del estudio, como por ejemplo las cargas articulares.

El análisis de toda esta información permite tomar una decisión sobre la idoneidad o no de la incorporación del exoesqueleto estudiado para la realización de la tarea concreta analizada.

EJEMPLO 1. Incorporación de un exoesqueleto de miembro superior en el sector industrial

El IBV desarrolló de la mano de la empresa Ford un proyecto que buscaba la incorporación de un exoesqueleto en una línea de producción. La tarea laboral concreta en la que se deseaba evaluar la conveniencia de incorporar exoesqueletos implicaba trabajar por encima del hombro, por lo que se identificó que el exoesqueleto más adecuado era el de miembro superior (concretamente se estudió el modelo AIRFRAMETM de la empresa Levitate). Este dispositivo consiste en un sistema de muelles con dos soportes para los brazos que se activa gradualmente cuando se levantan los brazos (ayudando en la posición con las manos por encima de la cabeza), y reduce su resistencia progresivamente al bajarlos (Figura 1).

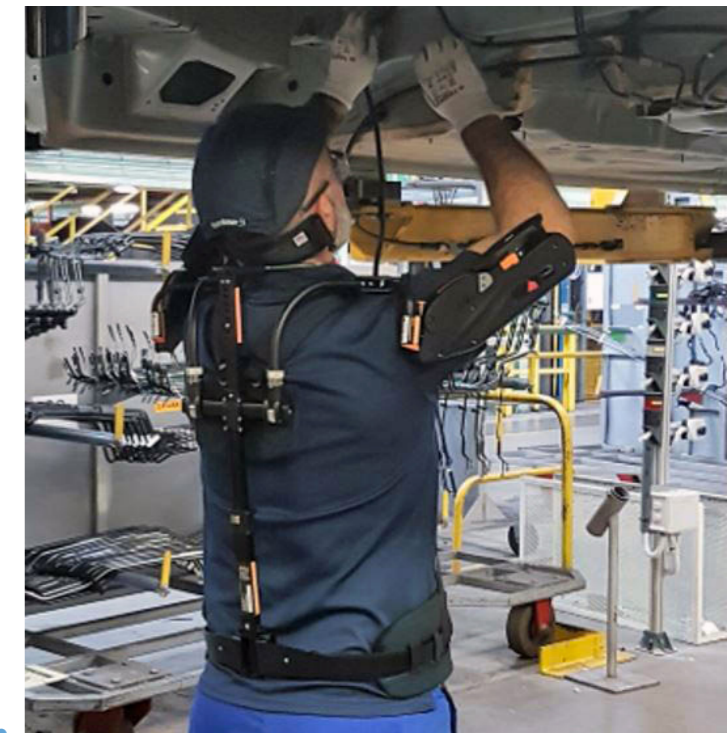


Figura 1

Exoesqueleto AIRFRAMETM utilizado durante el estudio en Ford.



Considerando los músculos que se activan durante la realización de la tarea laboral, se decidió instrumentar los siguientes grupos musculares (Figura 2 (a)): cara anterior del deltoides, trapecio, dorsal y erector espinal. Los dos primeros por ser los que potencialmente podrían ver reducida su actividad con el uso del exoesqueleto y, los dos últimos, por la posibilidad de encontrar efectos adversos por un incremento de su actividad al incorporar el dispositivo.

Para la captura de movimiento los sensores inerciales se colocaron en cabeza, tronco y brazos, permitiendo la monitorización de las articulaciones de interés: cuello y espalda (rotación axial, flexión lateral y flexo-extensión), hombro (rotación interna-externa, abducción-aducción y flexoextensión) y codo (pronación-supinación y flexo-extensión) (Figura 2 (b)).



Figura 2

Instrumentación: a) sensores de activación muscular (EMG (electromiografía)); b) sensores de movimiento (inerciales).



El modelo biomecánico desarrollado alimentado con las medidas obtenidas permite realizar simulaciones de las que obtener información no medida de forma directa durante el desarrollo del estudio (como por ejemplo la carga articular) (Figura 3).

Las personas que participaron en el estudio fueron monitorizadas realizando la tarea concreta con y sin el exoesqueleto y tras dichas pruebas, completaron un cuestionario en el que se les preguntaba sobre su experiencia de uso del dispositivo y percepción de reducción de fatiga muscular en cuello, espalda, hombros y piernas.

Los resultados de este estudio han sido publicados en la revista científica Applied Ergonomics bajo el título **“Ergonomics Assessment of passive upper-limb exoskeletons in an automotive assembly plan”** y pueden consultarse de forma gratuita.

Tras dicho estudio, la empresa continuó con la fase de implantación de los exoesqueletos, encontrando las altas temperaturas de la planta de Valencia como principal obstáculo para el uso de estos dispositivos.

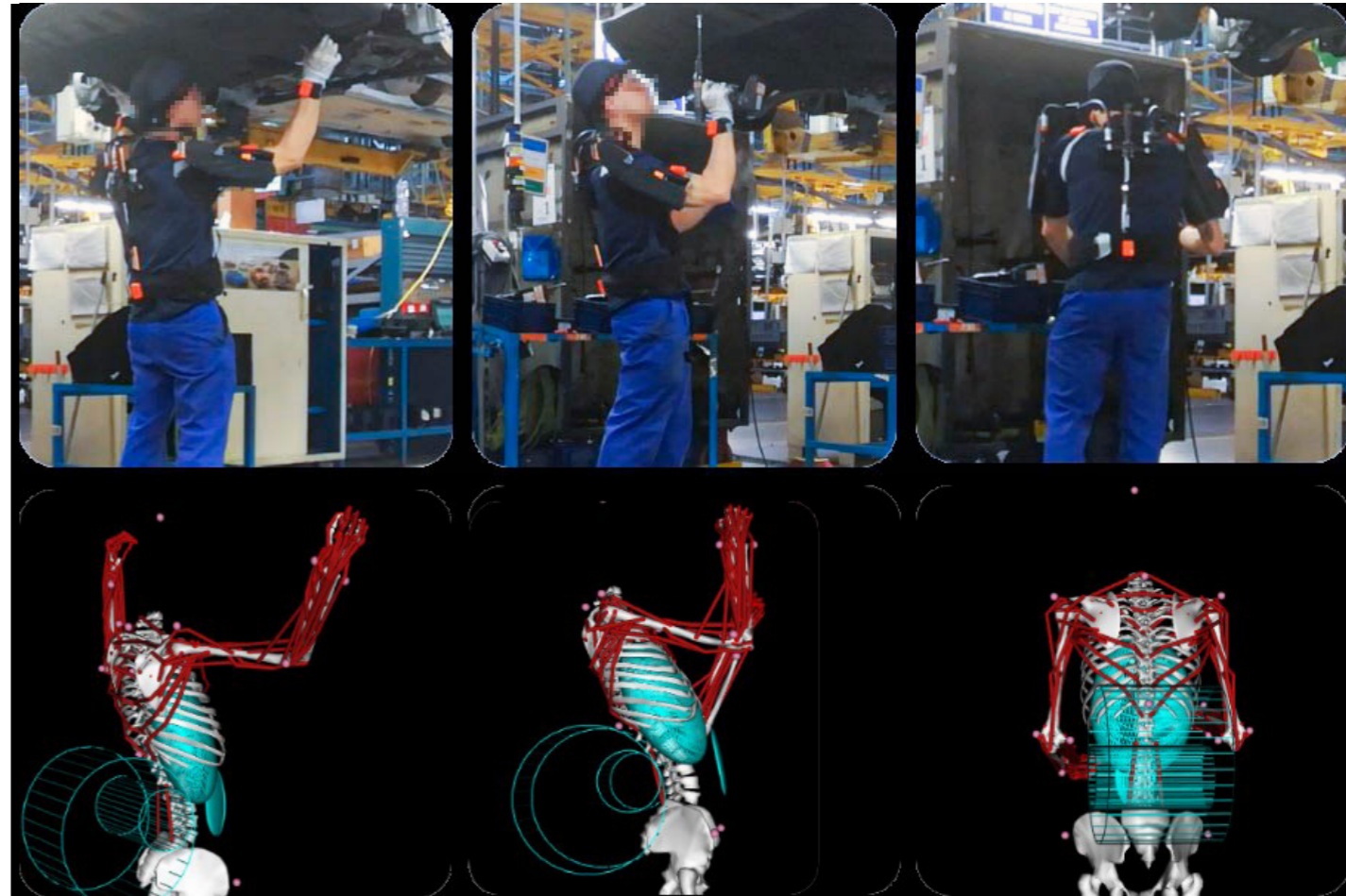


Figura 3
Modelo biomecánico
hombros-lumbar
desarrollado.



EJEMPLO 2. Uso de un exoesqueleto lumbar en tareas de logística

Los exoesqueletos lumbar están diseñados principalmente para reducir la carga de los grupos musculares de la espalda durante la manipulación de cargas. En este sentido, el sector logístico es uno de los principales objetivos de este tipo de exoesqueletos.

El IBV ha estudiado este tipo de exoesqueletos tanto en laboratorio, en tareas de paletizado y despaletizado en condiciones controladas (estudio financiado por la Fundación Prevent) (Figura 4a), como en situación real durante el desarrollo de las actividades propias de un puesto de trabajo de preparación de pedidos, en colaboración con Umivale Activa - Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº 3) (Figura 4b).

El objetivo principal de ambos estudios fue analizar, de manera sistemática, el efecto que los exoesqueletos lumbar tienen sobre los principales factores de riesgo de lesiones musculoesqueléticas en puestos de trabajo que requieren manipulación manual de cargas, por lo que la evaluación completa consistió en la medida de la actividad muscular, rangos de movimiento y momentos articulares de los participantes durante la realización de las dos series de tareas (con y sin exoesqueleto).

Las principales conclusiones de dichos estudios fueron:

1. El uso del exoesqueleto resultó ser beneficioso ya que reducía tanto la actividad muscular en el erector espinal como los momentos de fuerza en las articulaciones más implicadas en la tarea: cadera y lumbar.

2. Existen algunos efectos negativos menores consecuencia del uso del exoesqueleto, como la ligera restricción en los movimientos y el ligero aumento en la actividad del músculo recto femoral.

Los resultados del estudio realizado en laboratorio han sido publicados en la revista científica Sensors y pueden consultarse de forma gratuita (<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4060/htm>).

Figure 4

Estudios de evaluación del efecto del uso de exoesqueleto lumbar: a) en laboratorio; b) en situación real.





¿Cómo puedo incorporar un exoesqueleto en mi organización y qué exoesqueleto sería el más adecuado?

EJEMPLO 3. La importancia de la persona usuaria en el desarrollo de exoesqueletos

Además en el estudio de selección e implantación de exoesqueletos en función de las demandas de las tareas y el efecto de los mismos en la carga física realizada por las personas trabajadoras, desde el IBV se ha trabajado en el asesoramiento a empresas fabricantes de exoesqueletos en dos líneas principalmente: el **tallaje** (atendiendo a la antropometría de diferentes grupos de población) y la definición de los **requisitos que debe cumplir el dispositivo**.

DEFINICIÓN DEL TALLAJE EN LOS EXOESQUELETOS

Garantizar el efecto óptimo de un exoesqueleto pasa por asegurar un ajuste adecuado. Esto cobra mayor importancia

si cabe en el caso de los exoesqueletos semiactivos, los cuales cuentan con actuadores que deben estar perfectamente ubicados para que apliquen la fuerza requerida en el punto exacto, de forma que ayuden a la realización del movimiento concreto.

Las bases de datos antropométricas con las que cuenta el IBV y su conocimiento sobre este campo han permitido asesorar a la empresa Japet en la identificación del tallaje adecuado para diferentes grupos poblacionales (concretamente japonés, holandés, estadounidense y español) tanto para hombre como para mujeres (Figura 5).

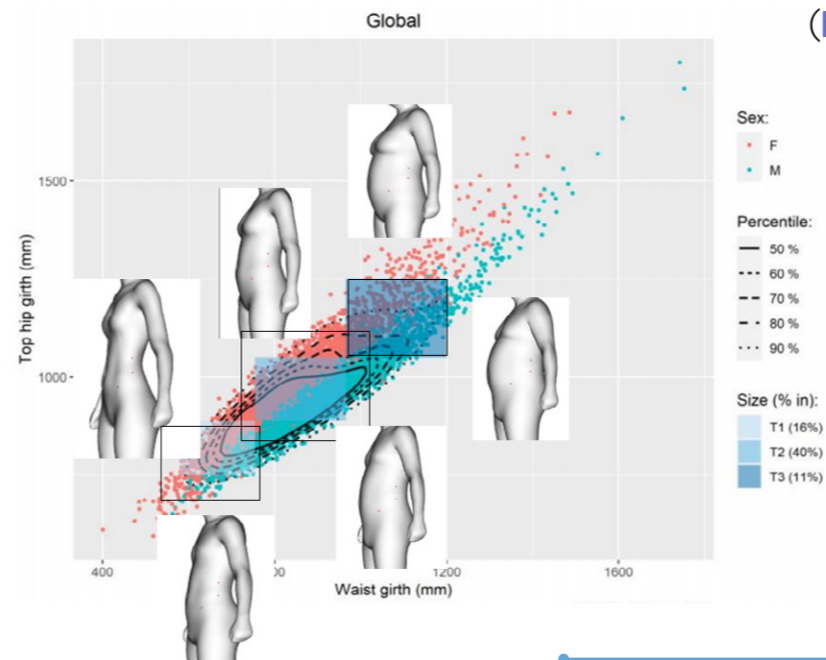
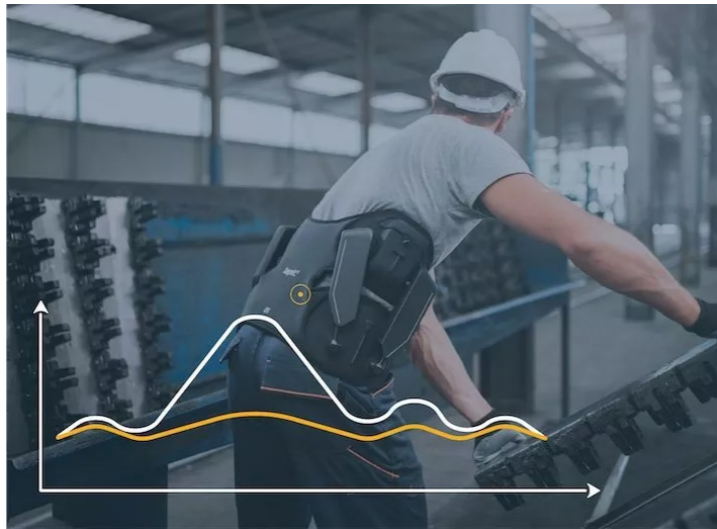


Figura 5

Exoesqueleto semiactivo lumbar de la empresa Japet (<https://www.japet.eu/>).

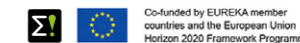


DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL PRODUCTO

Un diseño adecuado de un exoesqueleto pasa por garantizar que éste ayude en la realización de tareas concretas y no interfiera en la realización de tareas complementarias. En este sentido, es imprescindible identificar exactamente de qué tareas se trata, qué movimientos implican, si deben llevar otro tipo de equipamiento (por ejemplo los EPIs), condiciones climáticas o del entorno en las que pueda utilizarse, etc., y realizar el diseño del exoesqueleto considerando toda esta información.

En esta línea, desde el IBV se está trabajando con la empresa GOGO MOBILITY ROBOTS dentro del programa Eurostars en el proyecto EXO-RESCUE (Smart and modular semi-active full-body exoskeleton for rescue services) cuyo objetivo es desarrollar un exoesqueleto semiactivo para actividades de rescate realizadas por bomberos y/o fuerzas de seguridad que realizan rescates en montaña.

Como resultado de la experiencia del Instituto de Biomecánica en proyectos relacionados con exoesqueletos y dentro del proyecto INNOWORK (financiado por el programa 2022 de ayudas del IVACE dirigida a centros tecnológicos de la Comunidad Valenciana para el desarrollo de proyectos de I+D de carácter no económico realizados en colaboración con empresas, cofinanciado por la Unión Europea (IMDEEA/2022/34)) se ha desarrollado una **guía para la selección e implantación de exoesqueletos en puestos de trabajo**. Esta guía contiene información sobre criterios de selección, adaptación y uso de exoesqueletos para la reducción de la carga física. La guía que puede ser utilizada por las empresas para la identificación e implantación del



Cofinanciado por la Unión Europea

exoesqueleto más adecuado atendiendo a las características concretas de la tarea, contiene un protocolo estructurado en fases para ayudar a la implantación del exoesqueleto en el puesto de trabajo o tarea. Así mismo, la guía cuenta con una base de datos interactiva que permite a las empresas seleccionar la tipología de exoesqueletos más adecuada en función de las características y necesidades del puesto de trabajo donde la empresa tiene interés de implantar un exoesqueleto.

Así mismo, en el marco de este proyecto, el IBV está investigando en la obtención de un procedimiento que permita correlacionar la disminución de la carga física con la reducción del índice de riesgo ergonómico obtenido en la evaluación realizada mediante metodologías clásicas de evaluación ergonómica.



CONCLUSIONES

Los estudios realizados por el IBV para la evaluación del efecto de los exoesqueletos en puestos de trabajo concretos revelan que estos dispositivos suponen una ayuda para el desarrollo de ciertas tareas, logrando una disminución de la carga de algunos grupos musculares.

Sin embargo debe tenerse en cuenta que:

- El uso de estos equipos puede suponer una posible vía de mejora en los casos en los que otras medidas técnicas u organizativas para la mejora de las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo no sean factibles o efectivas para la reducción de la carga física.
- La evaluación ergonómica y el rediseño del puesto de trabajo considerando los resultados de la misma, debe ser siempre la primera alternativa para la mejora de los puestos, planteándose la incorporación de exoesqueletos cuando esta opción ha sido agotada y no se ha conseguido la mejora necesaria.

Por último, destacar que sería de gran interés realizar estudios longitudinales que permitan valorar las implicaciones que el uso de los mismos puede tener a largo plazo, así como seguir trabajando en el diseño de los mismos de tal

manera que puedan minimizarse algunos efectos negativos identificados principalmente a nivel subjetivo. □

Agradecimientos

Ford Motor Company

Fundación Prevent

Umivale Activa (Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº 3)

Japet Medical Devices

GOGOA MOBILITY ROBOTS, S.L.

Instituto Valenciano de la Competitividad Empresarial (IVACE)