

Exoesqueletos: Actualidad y Futuro en PRL

Jon Zubizarreta Molinuevo

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria. INSST

Teresa Álvarez Bayona

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. INSST

Ana Elvira Planas Lara, José Antonio Tomás Royo y María Ducun Lecumberri

Mutua Universal

Aunque algunos visionarios ya hacen referencia a la Industria 5.0, actualmente nos hallamos inmersos en un proceso de desarrollo y expansión de la denominada Industria 4.0. Esta “nueva” industria puede ser considerada como la cuarta Revolución Industrial; la 4.0 en un guiño a las nuevas tecnologías que la definen. Una revolución que está cambiando las bases sobre las que se asienta buena parte de la actividad económica y productiva, afectando no solo al sistema organizativo del trabajo o a las relaciones laborales, sino también a la propia sociedad en la que trabajamos y vivimos.

Nunca, hasta este momento, los cambios se habían dado de una manera tan rápida y, probablemente, nunca su impacto había sido tan profundo como es este provocado por la nueva Revolución Industrial.

Son muchas las áreas donde estas transformaciones se están dando. Si las anteriores revoluciones habían contemplado la irrupción de nuevas formas de realización de procesos, o nuevas fuentes de energía, la actual se está produciendo en todos los planos y niveles, tanto a nivel de organización como de producción y en el desarrollo y utilización de tecnologías, equipos o materiales. Sirva de ejemplo el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) o la gestión de los procesos productivos, incluso de las propias relaciones laborales, mediante el empleo de algoritmos que, a menudo, se escapan a la comprensión de los usuarios, pero que están llamados a controlar buena parte del mundo del trabajo.

Por último, otro aspecto que también refleja los cambios de esta nueva industria es el que se basa en el empleo de nuevos dispositivos. La impresión aditiva, el empleo de robots colaborativos, la realidad aumentada, los vehículos autoguiados (AGV) y también los exoesqueletos ¿Pueden ser estos dispositivos de utilidad, especialmente en el campo de la seguridad y la salud en el trabajo? ¿Cuál es su tipología, sus principales características? ¿Qué proceso es el más adecuado para su correcta implementación? Intentar responder a estas y otras preguntas es la intención de este artículo, elaborado en colaboración con Mutua Universal, a quien queremos trasladar nuestro agradecimiento por su excelente trabajo y ayuda.

¿QUÉ ES UN EXOESQUELETO?

Etimológicamente, el término "exoesqueleto" proviene del griego "ἔξω, éxō" (exterior) y "σκελετός, Skeletos" (esqueleto). No obstante, actualmente existen diferentes acepciones o definiciones del término "exoesqueleto". Una de ellas los define como "el esqueleto externo continuo que recubre, protege y soporta el cuerpo de un animal, hongo o protista". Por otro lado, la Real Academia Española, en una de sus acepciones (1. M. Zool.) los define como "Piel o parte de ella engrosada y muy endurecida, de algunos seres vivos".

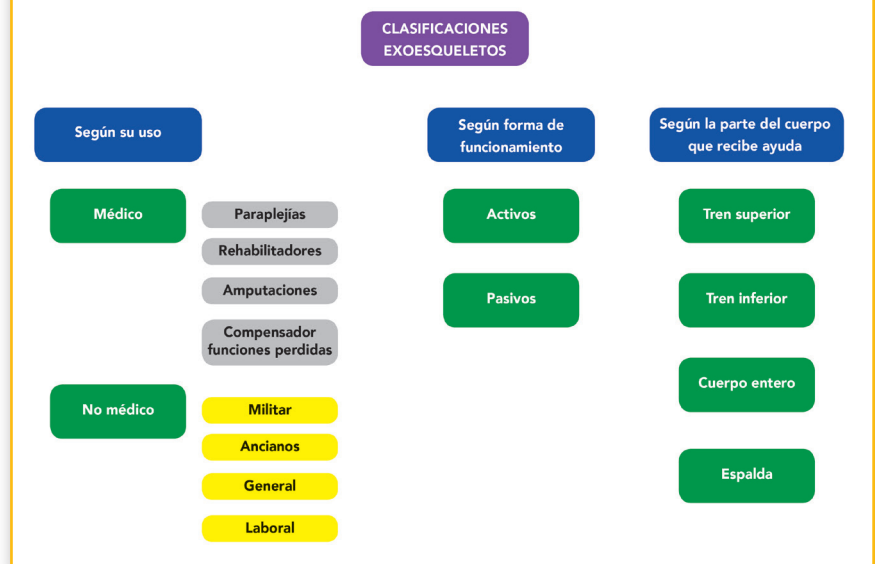
La similitud de los equipos denominados exoesqueletos con esas protecciones naturales, consiste en que también se adaptan al exterior del cuerpo humano, no como una coraza protectora, pero sí que se acomoda sobre la piel o la ropa de quien lo usa.

En estos momentos, y en relación con el mundo del trabajo, una definición ampliamente extendida de exoesqueleto es esta:

"Dispositivos externos portátiles (en inglés "wearable", ya que se colocan sobre el cuerpo del usuario) **utilizados con el objetivo de incrementar las capacidades** (1), **asimismo buscando también proteger a quien lo porta y disminuir la carga física durante el desempeño de su actividad laboral**".

Su nacimiento y mayor desarrollo se ha dado, principalmente, en el campo de la medicina para la recuperación o sustitución de funciones perdidas (movilidad o fuerza motriz), como consecuencia de accidentes o enfermedades. También se utiliza de manera importante en el ámbito militar. En este caso, se trata de potenciar las capacidades y habilidades del

■ Figura 1 ■ Clasificación de los exoesqueletos



sujeto buscando una mayor fuerza, resistencia o acierto.

En el contexto laboral, los fines perseguidos con el uso de estos dispositivos se mueven en una zona diferente: el objetivo no será tanto mejorar las capacidades de la persona, sino que la demanda de la tarea no supere estas capacidades, así como reducir el nivel de esfuerzo, evitando con ello molestias, cansancio y, en última instancia, daños a la salud.

¿QUÉ TIPOS DE EXOESQUELETOS HAY?

Actualmente hay muchos tipos de exoesqueletos, variando en función del objetivo perseguido con su uso, según su forma de funcionamiento o según la parte del cuerpo que recibe su ayuda (ver Figura 1).

En cuanto al ámbito de su uso, ya hemos visto que su mayor desarrollo se viene dando en el campo de la **medicina**, el **militar** o, más recientemente, en el **laboral**.

También podemos clasificar los exoesqueletos en función de su forma de fun-

cionamiento y por la parte del cuerpo que recibe la ayuda.

Según su forma de funcionamiento

Exoesqueletos pasivos:

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, sirve para distribuir la carga física soportada por diferentes segmentos corporales. A día de hoy son los que cuentan con una presencia más extendida en los puestos de trabajo.

Exoesqueletos activos:

A diferencia del grupo anterior, los exoesqueletos activos cuentan entre sus componentes con partes móviles, accionadas por motores eléctricos o neumáticos, para ayudar en los movimientos que lleva a cabo la persona, aumentando con ello su capacidad física o disminuyendo la fatiga.

El uso de estos exoesqueletos activos supone, por una parte, una reducción

de la carga física. Sin embargo, suelen ser equipos pesados, siendo este factor una de sus limitaciones, haciendo que, en ocasiones, sea necesario un apoyo adicional del dispositivo al suelo para reducir el peso del propio exoesqueleto. Esta es una de las dificultades que hacen que su empleo no esté actualmente muy extendido. Son, por sus características, los más complejos y los que más consideraciones requieren debido, principalmente, a que **un mal funcionamiento del sistema de control o los mandos o un error de la persona puede provocar accidentes y lesiones** (2). También por el hecho de que, por su peso y dimensiones, pueden dificultar una posible evacuación del puesto de trabajo, provocar pérdidas de equilibrio, etc.

Según la parte del cuerpo que recibe la ayuda:

Exoesqueletos de tren superior:

Ayudan a soportar el peso de las herramientas y de los 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 de sobrecargas o posturas forzadas.

¿CUÁL ES LA REGULACIÓN QUE AFECTA A LOS EXOESQUELETOS? LEGISLACIÓN Y NORMALIZACIÓN

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

Los exoesqueletos con finalidad médica están regulados por la Directiva Europea 93/42/CEE (3). Esta directiva fue transpuesta a la legislación española y, por ello, actualmente los productos sanitarios se regulan según lo establecido en el Real Decreto 1591/2009, de 16 de octubre (4).

Los utilizados en el entorno laboral, con partes móviles accionadas por motores, se pueden considerar bajo la regulación de la Directiva de Máquinas 2006/42/EC (5), transpuesta al derecho español por el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre (6), por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas. En cuanto a los exoesqueletos pasivos, hay un profundo debate, rechazándose en general que puedan considerarse como Equipos de Protección Individual (EPI) y regulados, por ello, por el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

En cuanto a la normalización técnica, en estos momentos la norma ISO 13482:2014 "Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots no industriales. Robots de asistencia personal no médicos" (7) 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" (8), tan solo la norma ISO/DIS 18646-4 "Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 4: Lower-back support robots" (9) trata directamente el apartado de exoesqueletos.

La falta de normas internacionales hace más difícil cumplir con las obligaciones legales del fabricante, dificultando también la comercialización de estos equipos en el mercado único europeo. En consecuencia, **es necesario el desarrollo y actualización de documentos y normas que sirvan de guía, para adaptarse a estos nuevos dispositivos** (10).

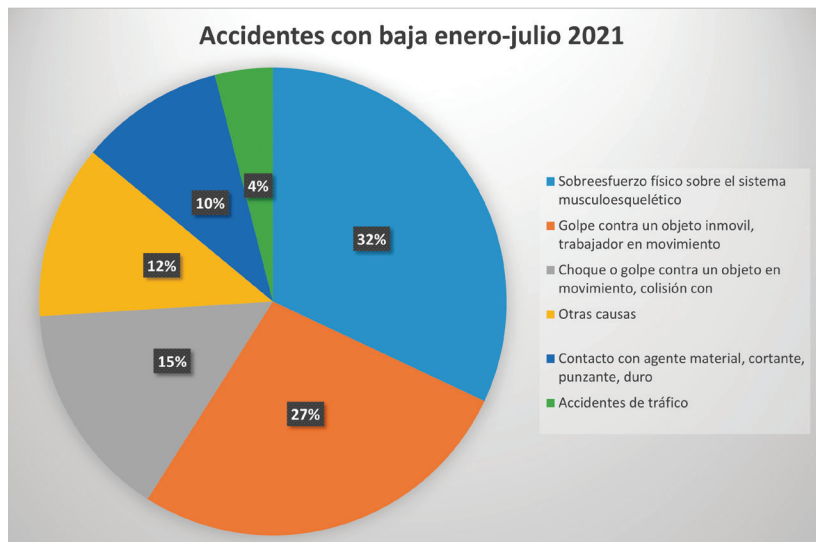
¿SON LOS EXOESQUELETOS UNA SOLUCIÓN PARA COMBATIR LOS TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS?

A día de hoy, los trastornos musculoesqueléticos (TME) son una de las consecuencias más extendidas para la salud de la población trabajadora en España y en los países de nuestro entorno socioeconómico, derivadas de ciertas características de la tarea y de su organización.

A la luz de la **Tercera Encuesta Europea de Empresas sobre Riesgos Nuevos y Emergentes (ESENER)** (11), 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, comprobamos el impacto que estas lesiones tienen en la población laboral.

En esta encuesta se señala que, por ejemplo, el porcentaje de personas trabajadoras preocupadas por el efecto que puede tener sobre la salud el estar sometido a movimientos repetitivos en el trabajo es del 58,1% como media en la

■ Figura 2 ■ Accidentes en jornada de trabajo con baja por forma o contacto más frecuente



Unión Europea, elevándose en el caso de España hasta el 76,3%.

Esta preocupación ha tenido reflejo en las diversas campañas que la mencionada Agencia ha venido haciendo a lo largo de los últimos años. De hecho, en la campaña actual **“Trabajo Saludables: relajemos las cargas” 2020-2022** se apunta lo siguiente:

“Los trastornos musculoesqueléticos son una de las dolencias de origen laboral más habituales. Estos trastornos afectan a millones de trabajadores en toda Europa y suponen un coste de miles de millones de euros para las empresas. Abordar los TME ayuda a mejorar la vida de los trabajadores, pero también redundan en beneficio de las empresas”.

Las estadísticas en España confirman esta realidad: en lo relativo a las enfermedades profesionales, las encuadradas en el grupo 2: Enfermedades profesionales causadas por agentes físicos y que afectan a tendones, ligamentos etc., suponen alrededor del 85% de los partes de enfermedad cerrados. En este Grupo 2 se encuadran todas aquellas patologías provocadas, entre otros factores, por posturas forzadas, por movimientos repetitivos, por vibraciones, etc.

En cuanto a los accidentes de trabajo, aproximadamente el 32% se encuadra en el apartado de sobreesfuerzos (ver Figura 2).

Por todo lo anterior, resulta evidente que cualquier actuación que suponga una mejora de las condiciones de trabajo reduciendo algunos de los factores de riesgo de sufrir TME, debería ser tenida en cuenta en la prevención de riesgos laborales y puesta en valor. Y los exoesqueletos se nos presentan como una opción a considerar en la mejora de esas condiciones.

En este punto hay que aclarar que el exoesqueleto no deja de ser una herramienta preventiva más y que, como tal, debe seguir la priorización de las actuaciones en prevención de riesgos laborales. No solo esto, también será necesario un análisis exhaustivo de lo acertado de proponer su utilización, así como del modelo más adecuado en la situación concreta que se plantee. **Un exoesqueleto puede ser una opción cuando no exista una alternativa técnica que solucione el problema ergonómico, o cuando esta no sea viable** (12).

Pero antes de considerar el exoesqueleto como una opción para controlar los riesgos en el ámbito laboral, hay que hacerse una serie de preguntas encaminadas a determinar varios aspectos. El primero de ellos, es analizar si existen otro tipo de medidas preventivas que se puedan emplear, ya que **no debería utilizarse un exoesqueleto para sustituir otras medidas**.

Por ejemplo: en el caso de un exoesqueleto diseñado para manipulación de cargas, no debe sustituir a carretillas ele-

vadoras, carritos o incluso grúas en sus distintas modalidades (puentes grúa, maquinillos, etc.) cuando estos equipos de trabajo sean viables (13).

¿QUÉ PASOS LLEVAN A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA? APLICAR LOS PRINCIPIOS DE LA ACCIÓN PREVENTIVA

Para saber si un exoesqueleto puede ser una solución a un determinado problema, se recomienda seguir un procedimiento en el que se establezcan unos pasos en la implantación. En primer lugar, se debería realizar un análisis previo cuyo objetivo es determinar la necesidad real y se finalizará, si esta necesidad existe, con la selección del exoesqueleto y el seguimiento de su impacto a largo plazo.

El análisis previo de la necesidad específica es quizá el aspecto más importante y en el que interesa prestar una dedicación especial, pues un buen análisis es imprescindible para que la intervención ergonómica tenga éxito. **Hay que asegurarse de que no existe otro tipo**

Figura 3 Principios generales de la acción preventiva

Artículo 15. Principios de la acción preventiva

1. El empresario aplicará las medidas que integran el deber general de prevención previsto en el artículo anterior, con arreglo a los siguientes principios generales:
 - a) Evitar los riesgos.
 - b) Evaluar los riesgos que no se puedan evitar.
 - c) Combatir los riesgos en su origen.
 - d) Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular, a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.
 - e) Tener en cuenta la evolución de la técnica.
 - f) Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
 - g) Planificar la prevención, buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.

de medida más adecuada para la situación que se desea mejorar.

Para optar a la solución del exoesqueleto, se deben considerar en primer lugar los principios generales de la acción preventiva descritos en el artículo 15 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (14) (ver Figura 3).

Por lo tanto, para reflexionar sobre la necesidad real, se deben considerar los principios de la acción preventiva (14) y, por tanto, preguntarse, antes de la implantación del exoesqueleto, lo siguiente (13):

1. ¿Se puede eliminar el riesgo o la exposición?
2. Si no ha sido posible, tras la evaluación ¿se ha observado la posibilidad de adoptar otro tipo de medida preventiva?
3. ¿Se puede controlar el riesgo en el origen con las medidas preventivas conocidas?
4. ¿Se pueden adaptar las tareas a las personas que las van a desempeñar?

5. ¿Se pueden adoptar medidas técnicas u organizativas conocidas que disminuyan los riesgos a niveles tolerables?

6. ¿Se puede remplazar algún proceso peligroso por otro menos peligroso?

En aquellas situaciones en las que la gestión permita que el riesgo se controle y se encuentre en un nivel asumible, quizá no será necesario recurrir a los exoesqueletos como medida preventiva adicional. Pero, en el caso de que no resulte suficiente con las medidas disponibles y las respuestas a estas preguntas sean negativas, será necesario recurrir a otro tipo de estrategias e intervenciones. Una de ellas podría ser la introducción de exoesqueletos.

¿POR DONDE EMPEZAR? LA EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

Ante aquellos riesgos que no se pueden eliminar, el primer paso, antes de proponer una solución ergonómica al problema musculoesquelético, es llevar a cabo una evaluación de riesgos. Para ello, será necesario determinar cuáles

son los puestos de trabajo con las tareas más críticas, por ejemplo, aquellos que presenten mayor riesgo de padecer TME o un absentismo mayor, y qué alternativas de solución pueden plantearse, entre las que se pueden incluir los exoesqueletos.

En todo caso, la evaluación ergonómica de la tarea crítica debe recoger los siguientes aspectos (13):

- Zonas o segmentos corporales afectados: espalda, cuello, brazo, etc.
- Características de la tarea, es decir: si requiere esfuerzos físicos, adoptar posturas de trabajo determinadas, repeticiones de tareas, etc.
- Condiciones del puesto de trabajo relacionadas con la configuración física del puesto (dimensiones, espacios, alcances, etc.), con el medio ambiente (temperatura, humedad...), con las características del terreno y con los equipos que se empleen (ya sean equipos de trabajo, equipos de protección colectiva o equipos de protección individual).
- Por último, las características de la organización de la empresa: trabajo individual o en equipo, pausas, horas de trabajo, otros trabajos que se realicen en el mismo entorno físico, etc.

Existen multitud de técnicas y métodos que se pueden emplear, pero lo importante es asegurarse de que el resultado obtenido muestre la situación real y que permita identificar los aspectos que requieren una mejora.

De esta manera, la evaluación se convierte en el punto de partida para establecer los criterios que se le deben pedir al exoesqueleto (ver Tabla 1).

■ Tabla 1 ■ Criterios que se le deben pedir al exoesqueleto

CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES A UN EXOESQUELETO (13)		
Característica	Contenido	Ejemplos
Adaptabilidad / Apropiación	Es el grado en el que la persona usuaria se habitúa al exoesqueleto y le permite la realización de la tarea.	La libertad y fluidez de movimientos, la duración de la tarea, la aceptación social, etc.
Utilidad	Es el grado en el que cumple con lo esperado.	El grado de reducción del esfuerzo físico en su empleo, el tiempo de ciclo y la calidad de la operación, etc.
Usabilidad	Implica analizar la facilidad de uso del dispositivo.	En el accionamiento, desbloqueo, en la colocación, ajuste o retirada, etc.
Impacto	Proporciona el grado de afectación del exoesqueleto en la forma de trabajar y en el entorno.	Cambio de comportamientos en la persona usuaria, en los compañeros, etc.
Seguridad y salud	Se evalúan los riesgos laborales que produce el nuevo equipo.	Evaluación del riesgo sobre la persona usuaria y sobre los compañeros.

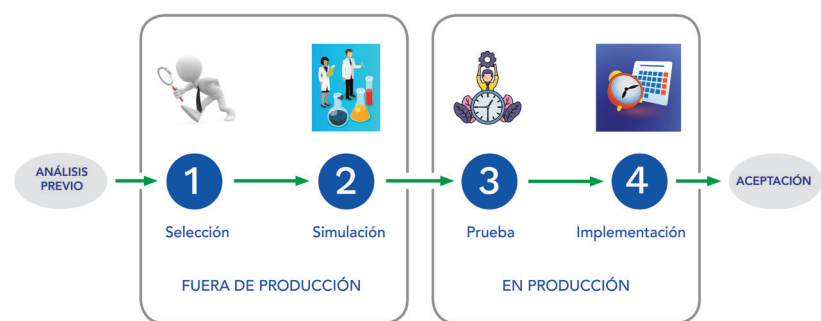
¿CUÁNDO ES EL EXOESQUELETO LA SOLUCIÓN ADECUADA AL PROBLEMA? LA ACEPTABILIDAD

Se entiende por “aceptabilidad” el hecho de que el exoesqueleto sea reconocido como una solución válida y efectiva para reducir los problemas musculoesqueléticos y que sea admitido por los trabajadores, por su representación en materia de PRL y por la organización productiva.

Como cualquier nuevo equipo de trabajo, la introducción de un exoesqueleto en la empresa supone cambios que generan un impacto directo sobre la persona usuaria, sobre las personas que le rodean y, en general, sobre la organización. Esto hace que, antes de introducir estos dispositivos, se deba valorar la posibilidad de adoptar otro tipo de medidas colectivas y enfocadas a la eliminación del origen del riesgo.

En definitiva, que nos cuestionemos si existen otro tipo de mejoras ergonómicas

■ Figura 4 ■ Metodología de análisis en cuatro fases (15)



cuya implantación requiera menos recursos y que protejan a mayor número de personas trabajadoras del riesgo de sufrir TME.

Si, tras la evaluación del riesgo y la búsqueda de soluciones para la eliminación o la reducción del riesgo, se considera un exoesqueleto como la mejor alternativa, antes de su implementación

definitiva se sugiere considerar diferentes aspectos que permitan valorar la mejor opción y comprobar la idoneidad del dispositivo.

Entre el análisis previo de necesidades y la aceptación final del exoesqueleto, conviene realizar un estudio para valorar la aceptabilidad del dispositivo (ver Figura 4).

Mediante diferentes fases de análisis y de un proceso sistemático, se analiza y se valora el desempeño del exoesqueleto, combinando la valoración objetiva del mismo mediante técnicas instrumentales de medición para valorar su eficacia, y la valoración subjetiva mediante cuestionarios para valorar la percepción de la persona usuaria.

Las diferentes fases de este proceso se desarrollan en diferentes escenarios, tanto fuera como dentro de la zona de trabajo, y su objetivo final es analizar la aceptabilidad del exoesqueleto.

Selección del dispositivo

Como hemos visto anteriormente, existen en el mercado diferentes tipos de exoesqueletos, según su aplicación, por tipo de diseño y según la parte del cuerpo que puede proteger. Uno de los primeros aspectos a considerar es la búsqueda en el mercado y la selección del exoesqueleto más apropiado para reducir el riesgo identificado en el puesto de trabajo y proteger la zona corporal implicada. En esta búsqueda, resulta necesario acudir a referencias o espacios actualizados debido al rápido desarrollo y evolución de estos dispositivos, por ejemplo, en la plataforma independiente [ExoskeletonReport.com](https://www.exoskeletonreport.com), con información y recursos sobre exoesqueletos, *exosuits* y robótica *wearable* (16).

En este momento inicial del proceso es altamente recomendable la participación de los trabajadores, creando un equipo multidisciplinar con departamentos técnicos, recursos humanos y representantes de los trabajadores, para conocer y probar el exoesqueleto y recoger de primera mano las primeras impresiones a través de un cuestionario de percepción inicial (por ejemplo, si consideran que el exoesqueleto es fácil de poner y quitar o si, *a priori*, podría ser útil para reducir el esfuerzo en alguna tarea concreta).

En esta línea, puede ser interesante llevar a cabo la participación a través de técnicas de **ergonomía participativa** (17), pues el éxito en la implantación de un nuevo equipo puede estar altamente influido en cómo se plantea la colaboración y participación en la empresa.

Debido a lo novedoso de estos equipos, otro aspecto que se debe considerar es la **voluntariedad** en el uso. Una vez determinados los puestos y las tareas que podrán utilizar exoesqueletos, el empleo debe ser voluntario. Poco a poco, si se observa el beneficio de su uso, las personas irán aceptando su utilización. La aceptabilidad del exoesqueleto es esencial para que la medida perdure en el tiempo, como se indicará más adelante (18).

Simulación

Cuando se adquiere un exoesqueleto, se da por supuesto que cumple con la función para la que ha sido diseñado (proteger la espalda, las extremidades superiores o inferiores, etc.).

En esta fase, el objetivo será constatar que el exoesqueleto se adapta bien y es eficaz para las tareas en las que se desea utilizar, reduciendo la carga muscular, así como comprobar que no genera otras tensiones o perjudica a otras partes del cuerpo.

Para comprobar que el exoesqueleto es eficaz, se realizarán ensayos simulando determinadas tareas o acciones con y sin exoesqueleto. Los ensayos se diseñarán en función del tipo de exoesqueleto, para comparar resultados en ambas situaciones (con y sin) y valorar su eficacia. La valoración del dispositivo combina el uso de técnicas objetivas de medición como electromiografía de superficie para el registro de la actividad muscular, técnicas de captura del movimiento en 3D para el registro de posturas y movimientos o

dinamometría para la medición de fuerzas (19), así como cuestionarios para valorar la percepción de la persona usuaria (20).

Esta fase de simulación puede requerir un espacio independiente y controlado para garantizar la calidad del registro de las variables a estudiar, evitar interferencias con la producción y el trabajo habitual, e incluso por necesidades de confidencialidad.

Se puede prescindir de esta fase de simulación dentro del proceso de análisis en determinados casos, según las características de la organización, por el tipo de tarea desempeñada o por el tipo de dispositivo a analizar.

Prueba en campo

Una vez verificado en los ensayos simulados que el exoesqueleto ayuda al usuario y que no genera otras sobrecargas, se requiere comprobar el comportamiento del exoesqueleto dentro del entorno de trabajo y en las condiciones reales en las que se desarrolla la tarea.

Para obtener la mayor información y de manera rápida, se recomienda el uso del dispositivo durante poco tiempo y por el máximo número de personas trabajadoras voluntarias. Una vez probado el dispositivo, las personas usuarias responderán a un cuestionario de percepción en el que se valorará, además de la usabilidad y la funcionalidad, aspectos relacionados con el impacto sobre el entorno y organización.

Debido a la falta de estudios de posibles efectos a medio o largo plazo, por precaución y con el fin de proteger la salud de las personas, su empleo, al menos inicialmente, debería limitarse a **personas sanas** que no tengan limitaciones o patologías previas. No obstante, en caso de duda siempre se podrá recurrir al área de vigilancia de la salud del servicio de prevención de la empresa.

Implementación en el puesto de trabajo

El objetivo de esta fase es comprobar el comportamiento del exoesqueleto durante un tiempo de uso más prolongado y en las condiciones habituales de trabajo.

Para conseguir la completa habituación de la persona usuaria, se recomienda diseñar un plan con un aumento progresivo del uso diario, por ejemplo, desde la media hora inicial hasta el uso máximo previsto en la jornada. Tras el uso diario, la persona usuaria cumplimentará un cuestionario de percepción para el análisis subjetivo del exoesqueleto.

Adicionalmente, y una vez se haya realizado el proceso de familiarización, se puede realizar nuevamente el registro con técnicas objetivas de medición, sin y con exoesqueleto, durante el desarrollo de las tareas, para valorar comparativamente su eficacia.

Una vez desarrollado este proceso e implantado el exoesqueleto, conviene hacer un seguimiento a las personas usuarias para evitar posibles efectos sobre la salud en el medio o largo plazo.

¿CUÁLES SON LOS PASOS IMPRESCINDIBLES PARA IMPLANTAR UN EXOSQUELETO? EL DECÁLOGO

La introducción de cualquier cambio en el puesto de trabajo puede encontrar cierta resistencia inicialmente. Como cualquier medio o equipo de trabajo, este puede generar algún tipo de impacto en las personas usuarias o en la organización.

A continuación, de manera breve, se presentan algunos aspectos que pueden

■ Figura 5 ■ Decálogo para la implantación de un exoesqueleto (21)



facilitar la implantación con éxito de un exoesqueleto (ver Figura 5).

1. Valorar la necesidad del exoesqueleto:

Partiendo de un diagnóstico inicial mediante la realización de una evaluación ergonómica del riesgo, y a partir de este resultado, se valorarán medidas preferentemente colectivas que protejan a la mayoría, si es posible, ya sean técnicas o estructurales. Si la evaluación del riesgo es aceptable o existen medidas alternativas, el exoesqueleto no sería una necesidad real y, en todo caso, si se introduce un exoesqueleto podría funcionar como medida paliativa que no eliminaría el riesgo.

2. Identificar el puesto de trabajo o de la tarea:

Tendemos a pensar en exoesqueletos para un puesto concreto. Sin embargo, esto puede ser un error. En muchos casos, los puestos de trabajo son dinámicos, estando compuestos por operaciones o tareas diversas. Esto hace que el exoesqueleto pueda ser eficaz y funcionar en una tarea concreta, pero en otra no.

Además, si la tarea en la que funciona es un porcentaje pequeño del total de tareas del puesto de trabajo, puede que la persona lo perciba como innecesario.

Por tanto, quizá se debería pensar en el uso del equipo más por tareas a realizar

que por puestos de trabajo. Además, en muchos casos, en especial en automoción, los puestos están vivos y sufren variaciones en las operaciones que lo componen, lo que puede llevar a que, inicialmente, el exoesqueleto pueda ser útil, pero que finalmente pueda no funcionar en el nuevo puesto.

3. Elegir el adecuado para el puesto o la tarea:

Hemos visto que existen varios tipos de dispositivos. La elección del adecuado parece clave y esto puede obtenerse también a partir de la identificación del peligro y de la evaluación ergonómica del riesgo.

Por ejemplo: si en la evaluación identificamos el riesgo por levantamiento manual de cargas, el exoesqueleto que podría ayudar sería aquel que protegiera la espalda. Por el contrario, implantar un exoesqueleto de espalda cuando realmente en el puesto de trabajo la persona permanece con la espalda erguida en todo momento, resulta totalmente innecesario.

4. Informar e implicar a los trabajadores:

La creación de un equipo multidisciplinar al que se le informa del porqué y del para qué y que participe desde el inicio será básico para la realización de un buen análisis y facilitar la aceptación final del exoesqueleto. Si no se informa y solamente se entrega directamente el exoesqueleto a la persona trabajadora, el fracaso está garantizado.

5. Analizar de manera objetiva y subjetiva:

El análisis objetivo, mediante técnicas de medición, nos permitirá evaluar la eficacia del dispositivo y justificar de manera "científica" sus prestaciones. Por su parte,

el análisis subjetivo permite obtener el resultado de las sensaciones que tiene el usuario. Ambos tipos de análisis resultan complementarios.

6. Verificar las prestaciones en condiciones reales:

El comportamiento del exoesqueleto puede ser excelente en condiciones de laboratorio y en unos movimientos determinados y, sin embargo, en el puesto de trabajo podría ser útil solamente en determinadas tareas u operaciones o tener interferencias con otros elementos del puesto de trabajo, con otros compañeros o con la organización del trabajo.

Analizar el exoesqueleto y verificar sus prestaciones en condiciones reales de trabajo permite corregir deficiencias y reducir el impacto con el entorno, facilitando su implantación.

7. Realizar una valoración previa del impacto que puede generar:

Es necesario analizar el impacto o efectos, tanto en el usuario como en los compañeros, con el producto que se fabrica o con el servicio que se realiza; y el impacto en la producción, o lo que llamamos efectos colaterales, como disponer un espacio para el almacenamiento, su mantenimiento, su tiempo para su colocación y retirada, limpieza, etc.

En las zonas de contacto del exoesqueleto con la persona **se podrían generar ciertas molestias**, presiones que produzcan irritaciones en la piel, además de **limitar la movilidad** o producir choques, bien con otros compañeros o incluso con vehículos o el propio producto.

Los **riesgos psicosociales** son otro aspecto clave y crítico. Por un lado, se producen cambios al incorporar un nuevo equipo, pero afectan a la imagen y a las

capacidades de cada individuo. Sin una aceptación de la nueva imagen y de las nuevas características, no va a ser viable (15) (20).

Prever este impacto en las fases iniciales evita incidencias, problemas logísticos y la necesidad de realizar adaptaciones a posteriori.

8. Dedicar el tiempo necesario para una adaptación progresiva:

Se ha demostrado que, aunque la primera impresión sea buena, cuando la persona lo lleva durante mucho tiempo algunos usuarios lo rechazan (22). Si la introducción del exoesqueleto se realiza de manera progresiva, poco tiempo inicialmente y aumentando poco a poco, esto facilita la adaptación a la persona y favorece su aceptación (20).

9. Registrar el feedback de las personas usuarias y adaptar el dispositivo ante los posibles inconvenientes:

Desde los momentos iniciales del proceso de aceptación o no del exoesqueleto conviene realizar el registro de todos aquellos aspectos que manifiestan las personas usuarias, con el fin de valorar su aceptación o de valorar la posibilidad de adaptación del dispositivo o de elementos del puesto de trabajo que puedan eliminar o reducir los posibles aspectos negativos notificados. Por ejemplo: tras trabajar con el exoesqueleto, la persona puede sugerir un cambio de lugar de unos contenedores para dejar más espacio y no chocar con ellos.

10. Establecer un balance entre lo que aporta y lo que resta:

En cualquier análisis que hagamos sabemos que va a haber unos aspectos positivos y otros negativos. La experiencia analizando el uso de exoesqueletos en el

■ Figura 6 ■ Perspectivas de futuro

Perspectivas de futuro		
Salud	Técnica	Normativa
Valorar la posibilidad de desarrollar los usuarios efectos secundarios a largo plazo: <ul style="list-style-type: none"> • Atrofia muscular • Isquemia,... 	Desarrollo de exoesqueletos más cómodos, ligeros, fáciles de usar y adaptables	1. Regulación de los exoesqueletos: <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de trabajo • E.P.I. • Equipo médico 2. Actualización de la Legislación 3. Evaluación del riesgo <ul style="list-style-type: none"> • Criterios de evaluación • Nuevos riesgos • Cómo integrar el exo en la evaluación de riesgos

ámbito laboral demuestra que lo que aporta debe ser lo suficientemente importante como para que compense los efectos negativos que se observen. Dicho de otra manera: aunque el exoesqueleto ayude y reduzca la carga física (espalda o brazos), si el usuario siente que el equipo le da calor o se le desajusta (que nos pueden parecer efectos menores), la introducción del exoesqueleto es complicada. De aquí la importancia de analizar la necesidad.

De la misma manera que si para mover una carga de 5 kg introducimos un polipasto o un manipulador, sabiendo que esto es ayuda, si el trabajador no lo percibe como necesario, seguirá manipulando de manera manual. Sin embargo, si esa carga pesa 25 kg, la ayuda de ese polipasto se percibe como necesaria, siendo su introducción y su uso más fácil.

Ese balance final entre lo que aporta (beneficia) y lo que resta (perjudica) debe ser claramente positivo.

¿CÓMO SE PLANTEA EL FUTURO? INCERTIDUMBRES Y RETOS

Desde luego que los equipos que ya existen, e indudablemente los nuevos desarrollos, van a motivar que se siga explorando sus funcionalidades, aprendiendo sobre su uso y análisis y, por supuesto, nos debe llevar a desarrollar nuevas herramientas (metodologías, normativa) para afrontar los diferentes retos e incertidumbres que ya tenemos delante y que se deberán abordar en un futuro.

Tres bloques que enmarcan algunas de las incertidumbres y retos: los relacionados con la salud, con la técnica y con la normativa.

- i. Las incertidumbres relacionadas con la **salud**. El hecho de que sean dispositivos nuevos que están en constante evolución, junto con la dificultad de seguimiento para ver sus efectos secundarios, hacen que no exista evidencia sobre posibles efectos a largo plazo en la salud de las personas usuarias.
- ii. En segundo lugar, la **técnica**. Uno de los factores que consideran más desfavorables las personas usuarias son el peso, la presión, el calor o el rozamiento. Esto significa que uno de los retos será diseñar exoesqueletos más cómodos, ligeros, fáciles de usar y adaptables a las distintas características de las personas.
- iii. En tercer lugar, los retos relacionados con la **normativa**. Y aquí, hay tres aspectos a considerar:
 - ¿De qué manera se van a regular los exoesqueletos? ¿Cómo equipo de trabajo? ¿Cómo equipo médico? ¿Cómo EPI? En estos momentos, la recomendación es regularlos según su uso previsto. Y, en función de ello, les afectará un reglamento u otro y tendrán que cumplir unas condiciones u otras (18).
 - La actualización de la legislación, introduciendo estos dispositivos y

otras tecnologías, también deberá discutirse y tratarse en el futuro.

- Aspectos relacionados con la evaluación de riesgos. Por ejemplo: Si en estos momentos la masa máxima de referencia recomendada para evaluar el riesgo por levantamiento manual de cargas es de 25 kg, la pregunta sería: ¿Con el exoesqueleto esa masa podría ser mayor?

Además, deberemos incorporar en la evaluación de riesgos del puesto los posibles riesgos que generen estos dispositivos.

Y, por último, se deberían desarrollar metodologías que permitieran evaluar el riesgo cuando se incorpora el uso del exoesqueleto y ser capaces de evaluar su reducción si se usan estos equipos.

A modo de resumen de los aspectos y retos de este futuro en ciernes, véase la Figura 6.

CONCLUSIONES

Si bien siguen suponiendo un coste importante para las empresas, los exoesqueletos son una opción cada día más económica. Y es de suponer que su mayor presencia en el mercado suponga una reducción de

su precio y, por ello, ser una alternativa asequible para muchas empresas.

Sin embargo, antes de decidir su incorporación a los puestos de trabajo, una inversión con estas características no se debería tomar sin antes hacer una reflexión sobre los siguientes puntos:

- No se puede generalizar el uso de los exoesqueletos como solución (en muchas ocasiones hay otras soluciones más adecuadas).
- A pesar de que, tras valorarlo, puede ser una solución eficaz, requiere de un proceso de implantación y seguimiento.
- Es una tecnología en constante evolución que abre un mundo de posibilidades y que habrá que guiar y adaptar a la realidad del puesto de trabajo. ●

■ Bibliografía ■

1. de Looze Michiel, P., et Col. *Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load*. [Online] 2016. [Cited: 27 08 2021]. Abstract disponible en: <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1081988>
2. Schick, Ralf. *Exoskeletons at work: everything safe and sound?* [Online] KAN Brief 3-19, 2019. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://www.kan.de/en/publications/kanbrief/exoskeletons/exoskeletons-at-work-everything-safe-and-sound>
3. EUR-Lex. Directiva 93/42/CEE del Consejo, de 14 de junio de 1993, relativa a los productos sanitarios. [Online] 1993. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <http://data.europa.eu/eli/dir/1993/42/2007-10-11>
4. Boletín Oficial del Estado (BOE). Real Decreto 1591/2009, de 16 de octubre, por el que se regulan los productos sanitarios. [Online] [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2009/10/16/1591>
5. EURO-Lex. Directiva de Máquinas 2006/42/EC. [Online] 2006. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:02006L0042-20190726&from=EN>
6. Boletín Oficial del Estado (BOE). 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. [Online] 2008. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/10/10/1644>
7. UNE. UNE-EN ISO 13482:2014. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots no industriales. Robots de asistencia personal no médicos.
8. ISO. ISO/TS 15066:2016 *Robots and robotic devices – Collaborative robots*.
9. ISO/DIS 18646-4:2020 *Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 4: Lower-back support robots*.
10. Van der Vorm, et Col. ROBO MATE *White paper Considerations for developing safety standards for industrial exoskeletons*. [Online] 2015. [Cited: 27 08 2021]. <https://www.robo-mate.eu/>
11. Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. Tercera Encuesta Europea de Empresas sobre Riesgos Nuevos y Emergentes (ESENER). [Online] 2019. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/facts-and-figures/esener>
12. Planas Elvira, et Col. Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos. Mitos, leyendas y certezas. Mutua Universal. [Online] 2020. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: http://trabajosaludable.mutuauniversal.net/export/sites/trabajo_saludable/es/publicaciones/202033/content/documentos/Folleto_ERGONOMIA-4.0-Y-EXOSQUELETOS_Mitos-leyendas-y-certezas_v2.pdf
13. Institut National de Recherche et de Sécurité. *Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise*. [Online] 12 2018. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://www.inrs.fr/media.html?reflNRS=ED%206315>
14. Boletín Oficial del Estado (BOE). Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. [Online] 10 10 1995. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>
15. Tomás José Antonio, et Col. *A Methodology to Assess the Effectiveness and the Acceptance of the Use of an Exoskeleton in a Company. Wearable Robotics: Challenges and Trends. Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Robotics, WeRob2020, and of WearRAcon Europe 2020*. [Online] Springer, 2020. [Cited: 27 08 2021].
16. Exoskeleton Report. [Online] 2016. [Cited: 30 08 2021]. <https://exoskeletonreport.com/>
17. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. NTP 1137: Ergonomía participativa un enfoque diferente en la gestión del riesgo ergonómico. [Online] 2020. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/706209/NTP+1137+Ergonom%C3%ADa+participativa+un+enfoque+diferente+en+la+gesti%C3%B3n+del+riesgo+ergon%C3%B3mico+-+A%C3%B1o+2020.pdf/66dd329f-e4d1-4b0c-b6fa-3850a78b9e26>
18. European Agency for Safety and Health at Work. *The Impact of Using Exoskeletons on Occupational Safety and Health*. [Online] 2019. [Cited: 27 08 2021]. Disponible en: <https://osha.europa.eu/en/publications/impact-using-exoskeletons-occupational-safety-and-health/view>
19. Planas, Elvira et col. *Objective Techniques to Measure the Effect of an Exoskeleton. Wearable Robotics: Challenges and Trends. Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Robotics, WeRob2020, and WearRAcon Europe 2020*. [Online] Springer, 07 07 2021. [Cited: 27 08 2021].
20. Masood, J. et Col. *Subjective Perception of Shoulder Support Exoskeleton at Groupe PSA. Wearable Robotics: Challenges and Trends. Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Robotics, WeRob2020, and of WearRAcon Europe 2020*. [Online] Springer, 2020. [Cited: 27 08 2021].
21. Tomás, José Antonio et col. Exoesqueletos: la solución a los problemas musculoesqueléticos... ¿o no? [Online] [Cited: 30 08 2021]. Disponible en: <http://trabajosaludable.mutuauniversal.net/es/publicaciones/202137/tecnologia-segura/>
22. Hensel, R. et col. *Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis*. s.l. : ASU Zeitschrift für medizinische Prävention, 2018. Vol. 53, 654-661.