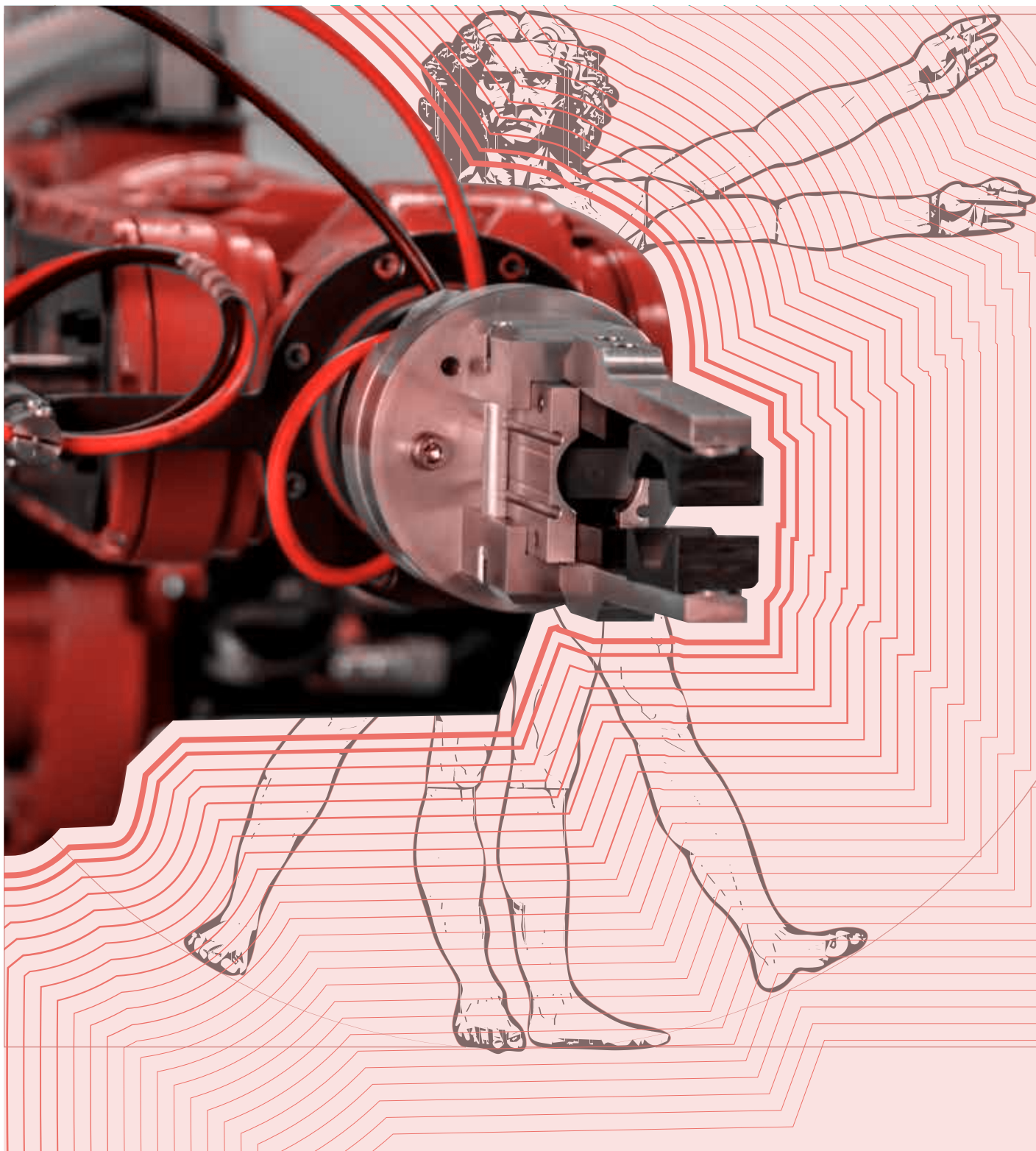


INFLUENCIA DE LA ROBÓTICA EN LAS CONDICIONES ERGONÓMICAS DE LOS PUESTOS DE TRABAJO. Informe Técnico.

Diciembre 2021



Este documento se ha elaborado con anterioridad a la publicación de la NTP 1162 y 1163 sobre exoesqueletos. Gran parte del contenido de las NTP se encuentra integrado en el documento a partir del artículo de referencia: Zubizarreta Molinuevo J, Álvarez Bayona T, Planas Lara A, Tomás Royo A y Ducun Lecumberri M. (2021). *Exoesqueletos: Actualidad y Futuro en PRL*. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), nº 108: 50-60, octubre de 2021.

Nota: En la redacción de este documento se emplea un lenguaje inclusivo salvo en las citas expresas y en aquella terminología específica de uso común que refiere la Industria 4.0.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	04
INTRODUCCIÓN	05
1. SITUACIÓN DE PARTIDA: LA ROBOTICA EN LA INDUSTRIA 4.0	06
LA INDUSTRIA 4.0	06
LA ROBÓTICA EN LA INDUSTRIA 4.0	09
CIFRAS Y DATOS EN ROBÓTICA	10
PUNTO DE VISTA DE LA OIT	12
PERSPECTIVA EUROPEA	13
SITUACIÓN EN ESPAÑA	14
2. DESCRIPCIÓN: ROBOTS COLABORATIVOS Y EXOESQUELETOS	16
CONCEPTOS	16
REGULACIÓN LEGISLATIVA Y NORMALIZACIÓN	23
USO Y APLICACIÓN POR SECTORES DE ACTIVIDAD	25
IMPLANTACIÓN EN LOS PUESTOS DE TRABAJO Y TAREAS	31
INTERACCIÓN CON LAS PERSONAS USUARIAS	42
RIESGOS EMERGENTES DERIVADOS DE LA INTERACCIÓN	51
3. FORTALEZAS Y DEBILIDADES, OPORTUNIDADES Y AMENAZAS: ROBOTICA Y SU INFLUENCIA EN LAS CONDICIONES DE TRABAJO	62
4. RETOS DE FUTURO	67

Con el apoyo de:



PRESENTACIÓN

La Industria 4.0, también llamada Cuarta Revolución Industrial, trae consigo grandes oportunidades de desarrollo y no tantas menos inquietudes. Es conocido y valorado de manera positiva la introducción de la robótica en las empresas, así como en el sector médico. La tecnología robótica basada en la inteligencia artificial actualmente se utiliza en muy diversos sectores de actividad. Ahora bien, esta revolución de las estructuras, formas y relaciones en el mundo del trabajo, no está exenta de inquietudes por lo que respecta a la percepción que tiene multitud de trabajadores y de trabajadoras de que esta tecnología avanzada y la propia digitalización a la larga sustituirán a las personas (exclusión del mercado laboral).

Otro elemento a tener en cuenta por lo que atañe a la seguridad y salud y que en múltiples ocasiones olvidamos, es la íntima relación existente entre la tecnología robótica y la ergonomía. Dada la, entre comillas, cierta novedad que representa la implementación paulatina de los robots con sus distintas variedades, la digitalización (introducción de algoritmos en las nuevas plataformas de trabajo) y la imparable introducción de nuevas tecnologías que viene a sustituir y transformar las antiguas formas de trabajo y las relaciones laborales existentes entre la dirección de la empresa y la plantilla, nos obliga como agentes sociales y como organización sindical más representativa tanto en el ámbito estatal como en Catalunya, a abordar la exposición a estos nuevos riesgos emergentes desde una perspectiva técnica, legal y sindical, con la finalidad de garantizar el derecho de las personas trabajadoras a la protección frente a los riesgos laborales, tal como se indica en el artículo 14 de la Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales (LPRL).

Además de la finalidad propia de CCOO de Catalunya por lo que respecta a la transformación de las condiciones de trabajo y de la protección de la salud y seguridad del personal laboral, pretendemos dar cumplimiento a las acciones del objetivo estratégico 7 de la Estrategia Catalana de seguretat i salut 2021-2026 referente a Impulsar la investigación y desarrollo de los riesgos prevalentes y/o emergentes.

Así pues, desde CCOO de Catalunya conjuntamente con ISTAS, hemos elaborado este documento, para dar conocimientos, herramientas y orientaciones preventivas a los delegados y las delegadas de prevención para que estos puedan realizar las funciones y facultades que les otorgan la LPRL.

Mónica Pérez

INTRODUCCIÓN

Este documento es el resultado de una revisión detallada no exhaustiva de referencias bibliográficas y webgraffías de distintas entidades y organismos públicos y privados, con y sin ánimo de lucro (institutos, fundaciones, empresas, asociaciones, etc.) de ámbito internacional, por países, europeo y español, correspondientes al periodo entre enero de 2015 y octubre de 2021. La búsqueda y el análisis se centran en la última fase de la evolución del trabajo, la Cuarta Revolución Industrial y en concreto, en la robótica avanzada aplicada al trabajo por medio de los robots colaborativos y los exoesqueletos pasivos. Del análisis de las referencias y citas seleccionadas se destaca la información relevante y de interés para la población trabajadora y su representación legal en la empresa respecto a cómo la tecnología robótica influye en las condiciones de trabajo, y principalmente a nivel ergonómico.

El apartado 1 define la situación de partida respecto a uso y aplicabilidad en el ámbito laboral de la robótica y en concreto, de los robots colaborativos y los exoesqueletos, con un enfoque más genérico que parte de la digitalización.

El apartado 2 incorpora información relevante sobre el concepto de robot colaborativo y de exoesqueleto, su regulación legal y las normas y criterios técnicos vigentes, su utilidad y aplicabilidad en distintos sectores, puestos de trabajo y tareas, empleando ejemplos extraídos de la literatura. También se incluye información de interés respecto a la interacción de las personas con el robot colaborativo y con el exoesqueleto, en relación con la exposición a los riesgos laborales nuevos y emergentes derivados de dicha interacción humano-robot, entre los que destacan como principales causas de los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral, los riesgos ergonómicos, los riesgos psicosociales y determinados riesgos higiénicos.

El apartado 3 identifica fortalezas y debilidades, oportunidades y amenazas que según la literatura, supone o puede suponer la tecnología robótica, a la empresa, al trabajador y la trabajadora en la empresa y a su representación legal, desde un punto de vista preventivo en salud laboral y principalmente, a nivel ergonómico para la prevención de los trastornos musculoesqueléticos.

El apartado 4 incluye los principales retos de futuro identificados en la literatura, respecto a la tecnología robótica y al uso de los robots colaborativos y de los exoesqueletos pasivos en el ámbito laboral. El documento aporta información sobre los cambios que provocar la Industria 4.0, con consecuencias positivas y negativas en las condiciones de seguridad y salud de las personas trabajadoras. Con su difusión entre los agentes implicados en la gestión preventiva de los riesgos laborales en la empresa, se promueve la sensibilización en salud laboral y las actuaciones preventivas frente a los trastornos musculoesqueléticos derivados de los nuevos riesgos emergentes con la transformación digital y en particular, de la tecnología robótica industrial.

1. SITUACIÓN DE PARTIDA: LA ROBOTICA EN LA INDUSTRIA 4.0

La Industria 4.0

El documento de trabajo (2016) elaborado por la Comissió Indústria 4.0 de Enginyers de Catalunya¹ en su apartado *La Quarta Revolució Industrial* realiza un repaso a las publicaciones y referencias de la última década que avanzaban hacia una nueva revolución industrial, la actual Industria 4.0.

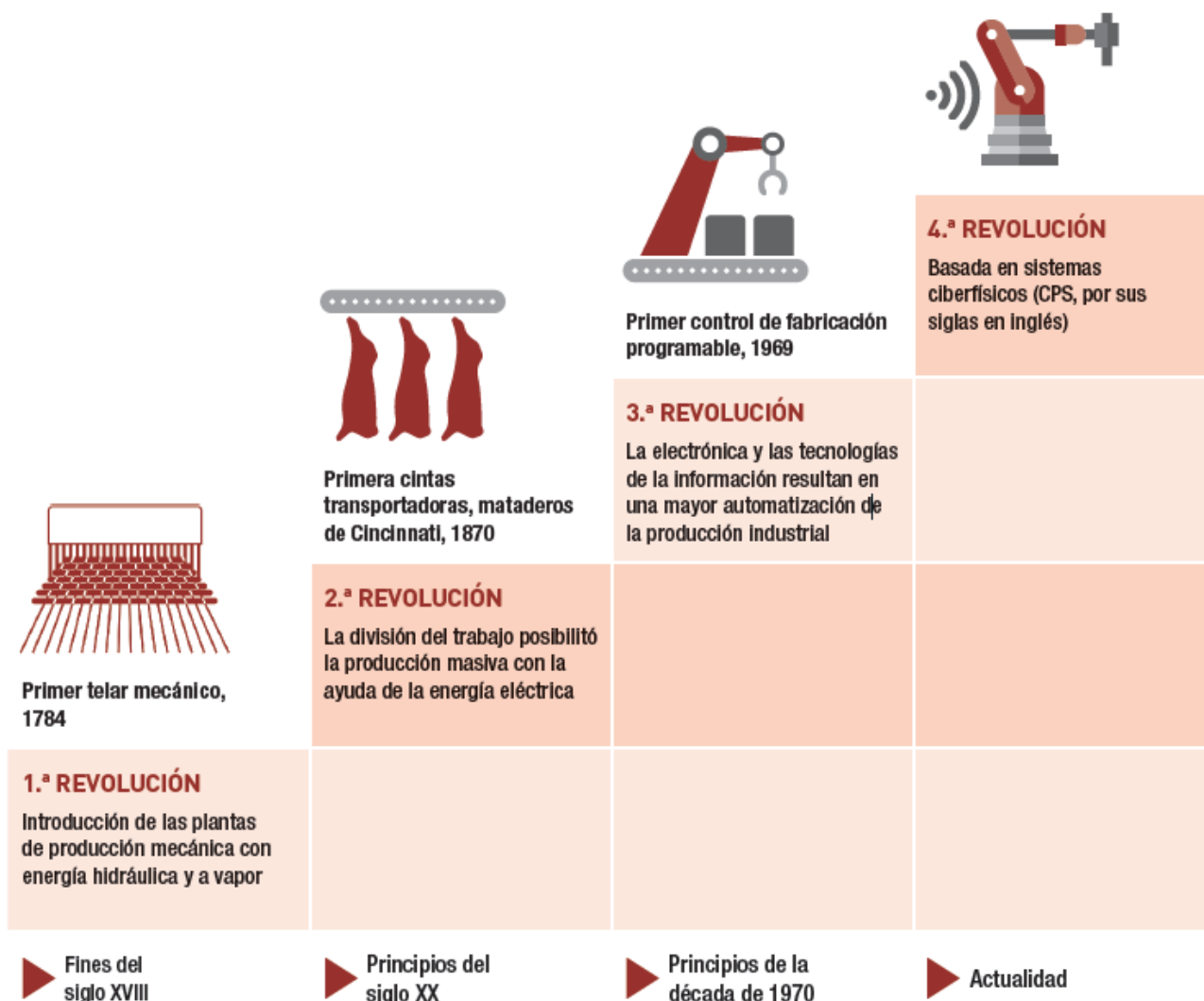
En 2011 el estadounidense Jeremy Rifkin² publicó *Third Industrial Revolution (La tercera revolución industrial)* afirmaba que las revoluciones industriales se debían a la confluencia de nuevas fuentes de energía y nuevas formas de comunicación. El autor identifica el inicio de una primera revolución industrial basada en la máquina de vapor por medio de los combustibles fósiles y el empleo de la palabra escrita para la comunicación. También identifica una segunda revolución basada en el motor de combustión con combustibles líquidos y la energía eléctrica y en los medios de comunicación con la electricidad analógica que incluye el teléfono, la radio y la televisión. Por último, sostiene el avance hacia una tercera revolución en la que la parte de las nuevas comunicaciones han surgido con la llegada de Internet, al mismo tiempo que emerge la energía renovable.

El año 2011 la DFKI (*Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz* o Centro Alemán de Investigación de Inteligencia Artificial) a iniciativa del gobierno alemán, representó un diagrama con las cuatro revoluciones industriales, lo que sienta la base del modelo en el que se basa el término Industria 4.0. Aunque cabe aclarar que no todos comulgan con su análisis, estos conceptos se han arraigado a pesar de que sus definiciones aún no son del todo precisas³.

¹ Fonseca, P (2016). *Indústria 4.0 / Status Report Marc de referència sobre la Indústria 4.0. Octubre 2016*. Comissió Indústria 4.0 Enginyers de Catalunya.

² Rifkin, Jeremy (2011) *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. St. Martin's Press ISBN 9780230115217.

³ IndustriALL Global Union (2017). *El Desafío de la industria 4.0 y la exigencia de nuevas respuestas*.



Fuente: DFKI (Centro Alemán de Investigación en Inteligencia Artificial) traducido al español por IndustriALL Global Union, 2017).

La asociación de sindicatos IndustriAll Global Union⁴ (2017) expone como la digitalización anuncia una nueva era de fabricación avanzada que lleva aparejado un conjunto de tecnologías que conforman la denominada Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial. Estas tecnologías abarcan la integración de análisis avanzados, la inteligencia artificial (IA), los sistemas de sensores, el Internet de las cosas, la computación en la nube, la cadena de bloques, los sistemas ciberfísicos (combina medios físicos y digitales), el aprendizaje automatizado (o aprendizaje de máquinas), la robótica y la impresión en tres dimensiones (3D o fabricación aditiva).

En su discurso llama la atención como nunca hasta este momento, los cambios se habían dado de una manera tan rápida y, probablemente, nunca su impacto había sido tan profundo como el provocado por la nueva Revolución Industrial; y avanza como las transformaciones provocadas por la Industria 4.0 pondrán en juego la fuerza colectiva que poseen los sindicatos para proteger los intereses de los trabajadores y las trabajadoras del presente y el futuro, así como sus familias, comunidades y el ámbito social que depende de ellas.

⁴ IndustriALL Global Union (2017). *El Desafío de la industria 4.0 y la exigencia de nuevas respuestas*.



Fuente: IndustriALL Global Union (2017). *El Desafío de la industria 4.0 y la exigencia de nuevas respuestas*.
Figura 9. Principales fuentes transformadoras.

En el caso particular de Catalunya⁵ se detecta entre las empresas catalanas un elevado nivel de sensibilización por la necesidad de digitalizar sus procesos, pero son pocas las que han iniciado este proceso, y en general se trata de empresas grandes y de startups con productos que se encuentran todavía en fase piloto.

Las principales razones por las que las empresas no han avanzado en el proceso de transformación digital de los procesos industriales es la falta de una visión clara de los beneficios que puede aportar, así como del retorno de la inversión.

Según datos de 2020, se estima que el volumen de negocio de la Industria 4.0 de las empresas de Catalunya es de 1.162 millones de euros. Este valor puede considerarse relativamente bajo, probablemente debido al hecho de que la Industria 4.0 se encuentra a día de hoy en una fase incipiente, con el desarrollo de nuevos proyectos piloto.

Los sectores que más han avanzado en el proceso de digitalización son el de la automoción y el de las tecnologías médicas, así como en la producción industrial de bienes de consumo.

⁵ Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ (2021). *Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya: informe tecnològic*. Generalitat de Catalunya.

La robótica en la Industria 4.0

La transformación digital, es decir la digitalización constituye la Industria 4.0 y se basa en tres bloques tecnológicos que la conforman y que se puede clasificar según el diagrama en: *Medios de producción, Inteligencia Artificial (IA) y Datos y conectividad*.



Fuente: Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ (2021). [Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya](#): informe tecnològic. Generalitat de Catalunya.

La robótica forma parte de las tecnologías aplicadas a los Medios de producción. Es una tecnología que se desarrolla en la tercera revolución industrial y que está en constante cambio. La robótica fue pionera en el desarrollo de sistemas informáticos. Los robots trabajaban en espacios cerrados y separados de las personas, de manera automática e independiente en el desarrollo concreto de una fase de producción. Es la denominada automatización de procesos y el empleo de robots industriales tradicionales que sustituyen a una parte de la mano de obra en la empresa.

Sin embargo en la Cuarta Revolución Industrial se da un paso más con la robótica avanzada, en la que los sistemas informáticos se conectan y permiten la colaboración buscando la interacción del robot y la persona, de manera que con el robot no se busca la sustitución de la persona, sino el proporcionar ayuda. Además, los robots industriales actuales se diseñan y se fabrican ganando en flexibilidad y en autonomía, para facilitar el trabajo “*codo a codo*” con las trabajadoras y los trabajadores. Se refiere en este caso a los robots colaborativos, pero también a los exoesqueletos aunque se encuentran en una fase de diseño y aplicación industrial muy temprana.

En particular, en el tejido empresarial de Catalunya⁶ se detecta una elevada presencia de empresas en el bloque de tecnologías de *Datos y conectividad*, mientras que en *Medios de producción* destaca por la poca presencia de empresas.

⁶ Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ (2021). [Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya](#): informe tecnològic. Generalitat de Catalunya.

Cifras y datos en robótica

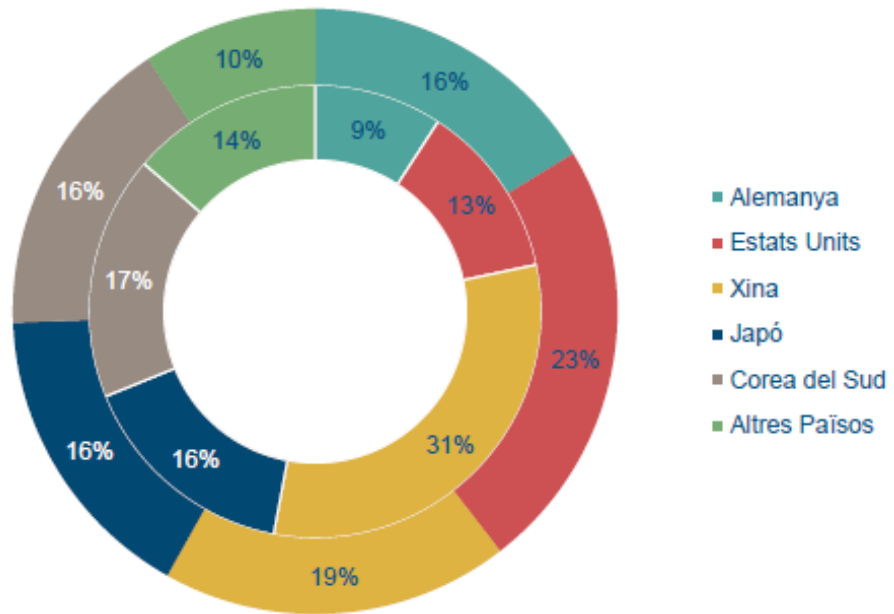
La Federación Internacional de Robótica⁷ (IFR, Alemania) dispone de una base de datos de *World Robotics* de gran calidad y reconocimiento a nivel mundial. Del mismo modo, la Generalitat de Catalunya⁸ a través de la *Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ* (2021), analiza estos datos y proporciona información detallada.

Algunos datos de interés:

- Desde 2010, la demanda de robots industriales se ha acelerado considerablemente debido a la tendencia continua hacia la automatización y continuas mejoras técnicas innovadoras en robots industriales. Entre 2011 y 2016, el aumento promedio de las ventas de robots fue del 12% por año. El número de instalaciones de robots nunca había aumentado tanto antes. Entre 2005 y 2008, el número medio anual de robots vendidos fue de aproximadamente 115.000 unidades. En 2010, las inversiones en robots que habían sido moderadas en 2009 fueron el principal impulsor del aumento significativo.
- Entre 2011 y 2016, el suministro anual promedio aumentó a alrededor de 212.000 unidades hasta llegar a 1,6 millones de unidades a finales de 2015, concentrando su mayor distribución en el sector manufacturero (80%) y en los países desarrollados (80%). Este es un aumento de alrededor del 84% en comparación con la oferta anual promedio entre 2005 y 2008 y una clara indicación del tremendo aumento de la demanda de robots industriales en todo el mundo.
- Solo en 2016, las ventas de robots aumentaron un 16% a 294.312 unidades, un nuevo pico por cuarto año consecutivo.
- El principal impulsor del crecimiento en 2016 fue nuevamente, como en 2015, la industria eléctrica y la electrónica. El sector se ha ido recuperando, especialmente en 2015 y 2016, alcanzando una participación del 31% de la oferta total en 2016. La industria eléctrica y la electrónica se han convertido en el cliente más importante de casi todos los principales mercados asiáticos, como son China, Japón y Corea del Sur.
- Las ventas de robots en la industria automotriz aumentaron, como en 2015, a un ritmo bastante moderado (un 6%) tras un aumento considerable entre 2010 y 2014. La industria automotriz sigue siendo el principal cliente de robots industriales con una participación del 35% del suministro total en 2016.
- En la distribución y venta de robots industriales tradicionales y de robots colaborativos los datos de 2015, muestran en este orden de importancia a los siguientes países: China (31% tradicionales y 19% colaborativos), Estados Unidos (13% tradicionales y 23% colaborativos), Corea del Sur (17% tradicionales y 16% colaborativos), Japón (16% tradicionales y 16% colaborativos), Alemania (9% tradicionales y 16% colaborativos) y otros países (14% tradicionales y 10% colaborativos).

⁷ WEB: [International Federation of Robotics \(IFR\)](http://www.ifr.org). Frankfurt, Alemania.

⁸ Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ (2021). [Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya: informe tecnològic](#).



Fuente: Distribución de ventas de robots industriales y robots colaborativos en 2015. Elaborada por Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ (2021).

[Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya: informe tecnològic](#) de la Generalitat de Catalunya.

- Hay cinco mercados principales que representan el 74% del volumen total de ventas en 2016: China, Corea del Sur, Japón, Estados Unidos y Alemania. Desde 2013, China ha sido el mercado de robots más grande del mundo con un crecimiento continuo. Otros mercados asiáticos importantes son Taiwán, Tailandia y la India.
- Dos de los países que lideran la Industria 4.0, Alemania y Estados Unidos son además, los que proporcionalmente apuestan en mayor medida por los robots colaborativos en detrimento de los robots tradicionales.
- En datos de 2015 destaca un avance en tecnología robótica bastante agresiva en Indonesia, Corea del Sur, Taiwan y Tailandia. En España en particular, el avance es lento.



Fuente: [Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ \(2021\)](#) de la Generalitat de Catalunya adaptado de International Federation of Robotics (IFB, 2016) [Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots](#).

- En Europa encontramos a Italia que ocupa el séptimo lugar desde 2014 en lo que respecta al suministro anual mundial de productos industriales. Las inversiones en robots cayeron ligeramente en 2016 desde el pico de 6.700 unidades en 2015. El mercado de robots francés aumentó un 39% hasta un nuevo nivel máximo. En España, las ventas de los robots industriales aumentaron en 2016 moderadamente hasta un nuevo pico de 3.900 unidades.
- México se ha convertido en un importante mercado emergente para robots industriales. Las ventas de robots aumentó aún más a alrededor de 5.900 unidades en 2016, alcanzando un nuevo pico. Las ventas de robots en Brasil disminuyeron en 2016.
- La densidad de robots global promedio es de aproximadamente 74 robots industriales instalados por cada 10.000 personas empleadas en la industria manufacturera en 2016. Los países más automatizados en el mundo son Corea del Sur, Singapur, Alemania y Japón.

A finales de 2020, aproximadamente 3 millones de robots industriales estaban en funcionamiento en todo el mundo.

En 2021, se está viendo el potencial de recuperación e inversión después de la crisis COVID-19 incluido el aumento de la demanda, las interrupciones de la cadena de suministro, la escasez de chips y la fricción comercial, que continúan creando desafíos.

La edición 2021 de World Robotics (WR) prevé que las instalaciones de robots globales se recuperarán con fuerza en un + 13% hasta las 435.000 unidades en 2021. Se espera que el “boom después de la crisis” se modere en 2022 a nivel mundial. En el 2024, se prevé alcanzar la marca de 500.000 unidades instaladas por año en todo el mundo.

Punto de vista de la OIT

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) en su documento temático para la reunión técnica sobre el futuro del trabajo en la industria automotriz (Ginebra, 15-19 de febrero de 2021)⁹ afirma como *“las nuevas tecnologías se están integrando en los actuales métodos de fabricación, con la finalidad de reducir los plazos de entrega y de fabricar productos más personalizados, que respondan en mayor medida a las necesidades individuales de los compradores”* (página 16, punto 44). Insta a *“los gobiernos, los empleadores y los trabajadores a actuar con el fin de promover el trabajo decente y sostenible y fomentar una transición justa hacia un futuro del trabajo que contribuya al desarrollo sostenible en sus dimensiones económica, social y ambiental”* (página 16, punto 43). Del mismo modo, afirma como el futuro de la industria automotriz, sector en el que se centra el documento, *“dependerá en gran medida de la capacidad y las competencias laborales que posean las mujeres y los hombres que trabajen en ella”* (página 16, punto 42).

Respecto a la salud laboral y en la mejora de las condiciones de trabajo de trabajo el documento [Seguridad y Salud en el centro del Futuro del Trabajo: aprovechar 100 años de experiencia](#)¹⁰ (OIT, 2019) identifica el constante cambio en todo el mundo de los patrones que siguen las muertes relacionadas con el trabajo y las lesiones y las enfermedades profesionales. Estos cambios pueden ser graduales o drásticos, y tienen implicaciones positivas y negativas para la seguridad, salud y el bienestar de los trabajadores y de las trabajadoras.

⁹ OIT (2020) [El futuro del trabajo en la industria automotriz y la necesidad de invertir en la capacidad de las personas y el trabajo decente y sostenible](#). Documento temático para la Reunión técnica sobre el futuro del trabajo en la industria automotriz (Ginebra, 15-19 de febrero de 2021), Oficina Internacional del Trabajo, Departamento de Políticas Sectoriales, Ginebra.

¹⁰ OIT (2019). [Seguridad y Salud en el centro del Futuro del Trabajo: aprovechar 100 años de experiencia](#). Oficina Internacional del Trabajo

Considera como los nuevos riesgos emergentes para la seguridad y la salud en un mundo del trabajo en constante evolución crearán nuevos retos, así como oportunidades para los gobiernos, la dirección de las empresas, las plantillas y otras partes interesadas fundamentales de garantizar entornos de trabajo, seguros y saludables.

Además, añade como los avances tecnológicos afectan a todos los aspectos del trabajo, desde quién realiza el trabajo, dónde se realiza y qué trabajo se realiza, cómo se organiza el trabajo y las condiciones en que se realiza, así como a la seguridad y salud de las personas que lo realizan. Estos cambios y avances se producen cada vez con más rapidez, ya tienen un considerable impacto en las condiciones de trabajo y en la seguridad y la salud de la población trabajadora, y se prevé que lo sigan teniendo en el futuro.

Perspectiva europea

En febrero de 2017, el Parlamento Europeo (PE) emitió la resolución [Normas de derecho civil sobre robótica](#)¹¹ (Parlamento, 2017). Entre los varios principios que contiene, está escrito que “(el PE) enfatiza que el desarrollo de la tecnología robótica debe enfocarse en complementar las capacidades humanas y no en reemplazarlas”. Del mismo modo (J.) continúa afirmando respecto a la sustitución o no de puestos de trabajo por tecnología robótica que “si bien es posible que el uso generalizado de robots no acarree automáticamente la sustitución de puestos de trabajo, sí que es probable que los empleos menos cualificados en sectores intensivos en mano de obra sean más vulnerables a la automatización”. Y que “(...) la automatización de los puestos de trabajo puede liberar a las personas de tareas manuales monótonas y permitirles que se dediquen a otras más creativas y significativas”.

Estas mismas declaraciones se hicieron para otras tecnologías derivadas de las TIC (Tecnologías de la Información y de la Comunicación), como la Inteligencia Artificial (IA), etc. Además, como principio ético (10.) el PE señala que “el potencial de empoderamiento que encierra el recurso a la robótica se ve matizado por una serie de tensiones o posibles riesgos y que deben ser evaluados detenidamente a la luz de la seguridad y la salud humana”, por lo que parece manifestarse con cautela ante los posibles nuevos riesgos que pueda suponer para la salud de las personas trabajadoras, el uso de los robots en su puesto de trabajo.

La Estrategia 2020 de la UE para la robótica describe la evolución actual de la robótica con las siguientes afirmaciones:

- La tecnología robótica llegará a ser dominante durante la próxima década.
- Influirá sobre todos los aspectos del trabajo y del hogar.
- La robótica tiene el potencial necesario para transformar las vidas y las prácticas laborales, para elevar los niveles de eficiencia y de seguridad, para ofrecer mejores servicios y para crear empleo.
- Su impacto será cada vez mayor, a medida que se multipliquen las interacciones entre los robots y las personas.

En sus afirmaciones se incide en la capacidad de la robótica para transformar las prácticas laborales, también a nivel de seguridad, aunque no entra en los posibles beneficios en la salud laboral de las personas trabajadoras y mucho menos en cómo puede influir en la mejora de las condiciones de trabajo y en la reducción de los daños a la salud por Trastornos Musculoesqueléticos de origen laboral.

¹¹ Parlamento europeo (2017). [Normas de Derecho civil sobre robótica](#). Resolución de 16 de febrero de 2017, con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho civil sobre robótica (2015/2103(INL)). Texto aprobado, Estrasburgo.

La Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo¹² (Dr. Jari Kaivo-oja, 2015) insiste en como a nivel global se necesitarán menos personas trabajadoras para los puestos de trabajo rutinarios (con tareas cíclicas, simples y repetitivas) o en los que se ejecutan tareas claramente definidas, dado que estos trabajos podrán ser asumidos por los robots industriales. Del mismo modo, augura como consecuencia de este cambio tecnológico, un incremento relativo en la demanda de trabajadores y trabajadoras altamente cualificadas, y una menor demanda de personal menos formado que realizan tareas rutinarias a nivel cognitivo, o de tipo manual.

Además, llama la atención la siguiente afirmación en la que la Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo detalla como a lo largo de las próximas décadas, lo que se conoce como “*vaciamiento*” de los trabajadores y las trabajadoras de cualificación media podría conducir a la desaparición de alrededor de una tercera parte del empleo actual.

El autor adopta una postura más optimista al hablar de las muchas ventajas que prometen las nuevas tecnologías, como una mayor salud, comodidad, productividad, seguridad al evitar entornos y tareas peligrosas; y datos, información y conocimientos más útiles para las personas y las organizaciones. Y de nuevo se centra en los inconvenientes de la robótica, la cual no está exenta de problemas desde este punto de vista del bienestar humano y tendrá repercusiones en la seguridad y la salud; además de los desafíos a la privacidad personal, las expectativas exageradas y la creciente complejidad tecnológica que nos desconcierta.

Los robots y la IA en la que se centra el artículo, según el autor brindan la posibilidad de mantener la producción industrial a un nivel elevado en los países donde los costes salariales son altos. Permiten asimismo llevar a cabo tareas y actividades productivas que las personas son incapaces de realizar, por ejemplo el análisis, verificación y edición de grandes volúmenes de datos, o los trabajos en entornos demasiado difíciles o peligrosos. Por otra parte, en el contexto actual de una población envejecida, los robots representan una solución para la creciente escasez -y coste- de los trabajos manuales.

En el artículo sobre la robótica y la IA en la actual revolución industrial se insiste en su repercusión en la seguridad y la salud de las personas trabajadoras en la empresa, y realiza un llamamiento a la necesaria cooperación europea para afrontar estos grandes retos.

Situación en España

La Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2015-2020 del Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) en su [plan de acción 2019-2020](#) dedica un breve párrafo a los riesgos emergentes entre los que se encuentra la robótica.

En dicho párrafo se hace referencia a la previsión de los expertos ante la aparición de efectos derivados de las nuevas tecnologías en los campos de la información y comunicación, biotecnologías e ingeniería genética, robótica, nanotecnologías y nuevas energías. Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) dice, producirán a corto plazo lugares de trabajo más flexibles, oficinas virtuales y teletrabajo. De forma específica, y en relación con las nanotecnologías, es necesario promover la investigación, seguir los avances realizados por grupos de investigación del ámbito laboral, detectar colectivos y actividades expuestas a estos riesgos y establecer programas reglados de vigilancia de la salud de los trabajadores y de las trabajadoras expuestas.

¹² Dr. Jari Kaivo-oja (2015). [Una revisión sobre el futuro del trabajo: la robótica](#). Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

Según datos de 2015, extraídos de la [6ª Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo](#) (6ª EWECS) llevada a cabo por Eurofound, el 37% de las personas trabajadoras encuestadas en España pasan más de ¼ de su jornada laboral manipulando manualmente pesos (más de 3kg). En comparación con otros países, España está por encima de la media. Ante estos datos, es necesario tomar medidas preventivas que reduzcan al menos, el tiempo de exposición de la población trabajadora en España que tiene que levantar, transportar o empujar y arrastrar cargas manualmente. La robótica podría ser una opción para determinadas tareas con mayor esfuerzo físico y postural.

En España, durante 2017 y 2018 se han asumido proyectos comunes en esta línea, entre CCOO de Industria, UGT y AMETIC¹³. En julio de 2017 se elabora de manera conjunta un *“Manifiesto por el liderazgo de la transformación digital de la economía española mediante el desarrollo del talento”*, que incluye una serie de propuestas para que España aborde con éxito la transformación digital. Patronal y sindicatos coinciden en que el desarrollo de la digitalización requiere que *“todos los agentes involucrados seamos más proactivos para liderar el cambio y, sobre todo, la administración, que debe jugar un papel de impulsor, regulador y equilibrador del desarrollo del proceso”*.

En octubre de 2018, tal y como recoge el documento de CCOO Industria¹⁴ (2018), se amplía esta colaboración, incluyendo como herramienta transversal, las recomendaciones e indicaciones para el desarrollo de una transformación digital que afecta a todos los sectores económicos. En consecuencia se incorporan las principales medidas para evitar riesgos y facilitar su implantación en las empresas:

- Comunicación a la plantilla, indicando que la intención de la empresa no es sustituir a las personas trabajadoras por máquinas.
- Formación adecuada para el uso de la tecnología (incluida la tecnología en robótica avanzada, como son los robots colaborativos y los exoesqueletos).
- Presentación del Plan de Acción de implantación tecnológica, que permita la creación de puestos de trabajo complementarios en el centro productivo ante la incorporación de la tecnología.
- Creación de un Comité de Seguimiento de las tecnologías implantadas en el centro productivo de trabajo.

La pretensión es que estos proyectos sean asumidos por las confederaciones patronales (CEOE-CEPYME) y sindicales (CCOO y UGT) como referencia de actuación futura en el marco del mercado y de las condiciones de empleo y trabajo.

El proyecto [R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0](#) cuyos miembros son el Instituto tecnológico AIDIMME, FEMEVAL (Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana), FEVAMA (Federación empresarial de la Madera y Mueble de la Comunidad Valenciana), Unión de Mutuas, Unimat Prevención y Agrupación innovadora Valmetal, plantean desde la óptica de seguridad y salud en el trabajo, las oportunidades que la robótica presenta. Para ello, destaca en palabras de la EU-OSHA¹⁵ (2018) como la tecnología robótica va a propiciar positivamente, la sustitución de las personas por robots industriales (tradicionales y/o colaborativos) en las tareas más insalubres, inseguras, tediosas y penosas, evitando su exposición a condiciones de trabajo peligrosas y reduciendo principalmente, la exposición a los riesgos físicos, ergonómicos y psicosociales.

¹³ CCOO Industria, UGT, AMETIC (2018). [Recomendaciones sobre el impacto de la Tecnología en los Centros Productivos de Trabajo](#).

¹⁴ CCOO Industria. (2018). [La digitalización de la industria. Afrontar los cambios en el empleo y en las relaciones laborales](#). Área de Estrategias Sectoriales, Industria Comisiones Obreras.

¹⁵ Dr. Jari Kaivo-oja (2015). [Una revisión sobre el futuro del trabajo: la robótica](#). Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

Sirva de resumen el artículo publicado en la revista Archivos de Prevención de Riesgos Laborales¹⁶ (Mercader J, 2018). Realiza un breve repaso por la situación de la robótica y la prevención de riesgos laborales e insiste en su mayor impacto, a medida que se multipliquen las interacciones entre los robots y las personas. El autor menciona algunas sentencias de entre 2003 y 2011 sobre accidentes de trabajo ocurridos a partir de la interacción humano-robot. Destaca la STS 20-1-2010 (RJ 2010/3110) que considera imprudencia temeraria del trabajador el entrar en la zona de riesgo y proceder por su cuenta a realizar una serie de operaciones bajo el alcance del robot. Igualmente, la STSJ Galicia 29-4-2011 (AS 2011\1768), analiza los daños a un trabajador por atrapamiento por un robot. En Francia, la Sala de lo Penal del Tribunal Supremo, en su Cass. crim., 30-9-2003, nº02-87666 condenó al director de una planta de fabricación de envases y de supervisión tras la muerte de un trabajador aplastado entre la parte fija de un molde y la parte móvil del robot acoplado a una prensa hidráulica. Importante repercusión mediática tuvo la noticia según la cual [“un robot mata a un trabajador en una planta de Volkswagen”](#).

Algunos países europeos están incluyendo la robótica en sus programas nacionales. España, por ejemplo en su [plan de acción en seguridad y salud en el trabajo 2019-2020](#) cuando habla de riesgos emergentes. Tratan de promover la cooperación segura y flexible entre los robots y las personas trabajadoras para lograr una mayor productividad, sin embargo se debe ir más allá. Las interacciones humano-robot exigen definir nuevas reglas de conducta a nivel internacional, europeo y español y también reglas técnicas específicas que doten de seguridad dicha coexistencia.

2. DESCRIPCIÓN: ROBOTS COLABORATIVOS Y EXOESQUELETOS

Conceptos

Definición y tipología de Robots colaborativos

Para entender el término de robot colaborativo es preciso partir de la definición de robot. De acuerdo con la [Norma internacional, europea y española UNE-EN ISO 10218-1:2012](#)¹⁷ (versión corregida, febrero 2014) un **robot** es un brazo manipulador programable para múltiples aplicaciones. Evoluciona en al menos tres ejes y puede ser fijo o móvil.

Los robots se dividen en tres clases:

- ▶ Clase 1. Son robots que sustituyen a las personas en los trabajos pesados, peligrosos y tediosos. En esta clase se encuentran los robots industriales tradicionales y la automatización.
- ▶ Clase 2. Son robots que operan en estrecha colaboración con las personas para mejorar su bienestar mediante el entretenimiento, la ayuda a las personas mayores y/o dependientes, el transporte de pacientes o la colaboración humano-robot. A esta clase se corresponden los robots colaborativos.
- ▶ Clase 3. Son robots que operan sobre seres humanos, como es el caso de los robots de asistencia física o los robots médicos utilizados en diagnóstico, cirugía, terapia y rehabilitación. Es aquí donde se incluyen algunos tipos de exoesqueletos.

¹⁶ Mercader Uguina, Jesús R. (2018). [Robótica y riesgos laborales](#). Archivos de Prevención de Riesgos Laborales, 21(3), 121-122. Epub 21 de septiembre de 2020.

¹⁷ Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. (Idéntica a ISO 10218-1:2011)

En función de la aplicación a la que se destine, un robot puede ser industrial o de servicio.

- Los **robots de servicio** están diseñados para apoyar, acompañar y cuidar a las personas, compartiendo el mismo entorno y adoptando, en la realización de las tareas asignadas, comportamientos que denotan una inteligencia básica.
- Si un robot se utiliza en un entorno industrial fijo o móvil para la automatización, fabricación, inspección, el embalaje, el montaje..., entonces se llama robot industrial.

Este documento se centra exclusivamente en los robots industriales y en particular, en los robots colaborativos.



La Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (Dr. Jari Kaivo-oja, 2015)¹⁸ define el **robot industrial** como un “*manipulador programable en tres o más ejes, controlado automáticamente, reprogramable y multifuncional, que puede estar fijo en un lugar o móvil, para uso en aplicaciones automáticas de la industria*”. Esta misma definición de robot industrial la emplea la [Asociación Española de Robótica y Automatización](#) (2018).

La definición proviene de la norma internacional ISO 8373:1994 que fue anulada por la ISO 8373:2012 y a su vez, por la [ISO 8373:2021 Robotics-Vocabulary](#), válida en la actualidad (diciembre de 2021). En España, actualmente no se dispone de ninguna norma vigente sobre *Vocabulario-Robótica*, ya que solo se contaba con la UNE-EN ISO 8373:1998 (trasposición idéntica a la ISO 8373:1994) que a día de hoy no es válida ni en el ámbito internacional, ni europeo, ni en España.

¹⁸ Dr. Jari Kaivo-oja (2015). Una revisión sobre el futuro del trabajo: la robótica. Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

Un robot industrial no se considera una máquina por derecho propio, sino que se entiende como una **cuasi-máquina** ya que se comercializa sin herramientas y sin una aplicación específica. Según la [Norma internacional, europea y española UNE-EN ISO 10218-1:2012](#) un robot industrial es un **robot completo**, es decir, una máquina que dispone de todos los equipos externos es decir, de sus herramientas, ejes y dispositivos, efectores finales, etc. que le permiten realizar su tarea específica.

Por tanto, a un robot completo, es decir, a una **máquina** sí le es de aplicación la Directiva 2006/42/CE y en el ámbito español, el [Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre](#) para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas, con las exigencias de seguridad y salud que incorpora para la prevención de riesgos laborales.

El **robot colaborativo** es un tipo de robot industrial de Clase 2. Se diferencia principalmente de los **robots industriales tradicionales** de la Clase 1, por ser ligeros, flexibles y fáciles de instalar. Son idóneos para las PYMES. Están especialmente diseñados para interactuar con las personas en un espacio de trabajo compartido sin necesidad de instalar vallas de seguridad. Están formados por brazos ligeros que se adaptan fácilmente a diferentes tareas y a los cambios en la planificación de la producción.

Los robots colaborativos son, por el momento, menos precisos y menos rápidos que los robots industriales tradicionales. Además, generalmente no son capaces de manipular cargas pesadas, ya que su peso suele ser reducido para limitar el riesgo de provocar accidentes cuando entran en contacto con el trabajador o la trabajadora.

Algunas de las características y diferencias más significativas entre los robots industriales tradicionales y los robots colaborativos, las facilita la Generalitat de Catalunya (2021).

ROBOTS INDUSTRIALS TRADICIONALS	ROBOTS COL-LABORATIUS
No són conscients de l'entorn	Veuen i entenen el seu entorn
Focalitzats en la precisió i la repetibilitat	Focalitzats en la flexibilitat i la facilitat d'ús
Programació complexa	Programació senzilla
Específic per a determinades tasques	Flexible, capaç d'adaptar-se a diverses tasques
Ràpid i potent	Comparativament, lent i menys potent

Fuente: Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ (2021). [Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya: informe tecnològic](#). Generalitat de Catalunya.

El Institut Santé et sécurité au travail Francés (INRS, 2020) facilita a través de su web [información de interés sobre los robots colaborativos](#) (publicaciones, enlaces útiles, vídeos, etc.). En su trabajo [10 questions sur les robots collaboratifs](#) (10 preguntas sobre robots colaborativos) define los robots colaborativos como “un brazo articulado motorizado, más o menos autopropulsado, diseñado para trabajar cerca de los operadores o en contacto directo con ellos. Esta coactividad implica la eliminación total o parcial de las barreras físicas entre el humano y el robot, para que puedan interactuar”.

Los robots colaborativos emplean sistemas robóticos que incorporan las medidas preventivas de seguridad y salud adecuadas, de acuerdo con la [Norma internacional, europea y española UNE-EN ISO 10218-2:2011](#) (versión corregida, septiembre 2016)¹⁹. Un **sistema robótico industrial** por tanto, es el constituido por un robot, sus elementos terminales (pinza, pistola, soldador, etc.) y otro equipamiento que ayude en la realización de la tarea (maquinaria, equipamiento, ejes externos adicionales, sensores, etc.). A estos sistemas robóticos en los que se implementan medidas de seguridad y salud se les llama **celda industrial robotizada** o **células robóticas**. La implementación de la célula robótica requiere la definición clara del espacio máximo de evolución del sistema robótico, el espacio compartido también llamado espacio de trabajo colaborativo y el espacio controlado o protección perimetral. El desarrollo seguro de estos espacios de trabajo partirán de los resultados de la **evaluación ergonómica del futuro lugar de trabajo colaborativo**, a partir de la identificación de los peligros para la seguridad y salud de las personas que compartan dicho espacio con el robot.

Comúnmente a los robots colaborativos se les viene llamando **cobots**. Sin embargo, es fácil encontrar cómo algunas empresas, fabricantes y suministradoras, comercializan bajo esta misma denominación otro tipo de robots industriales que no son robots colaborativos e incluso para referirse a dispositivos robóticos que ni si quiera se definen como robots. Habrá que prestar atención a la terminología para no confundir al menos, las exigencias legales aplicables a unos y a otros, robots y dispositivos.

Definición y tipología de Exoesqueletos

El término exoesqueleto viene del griego ἔξω, éxō "exterior" y σκελετός, skeletos "esqueleto". Es el esqueleto externo y continuo que recubre, protege y soporta el cuerpo de un animal, hongo o protista. La Real Academia Española define la palabra exoesqueleto como la piel engrosada y muy endurecida en forma de conchas o caparazones de algunos animales.

En el ámbito industrial, los exoesqueletos son tecnologías robóticas que modifican las fuerzas internas o externas que actúan sobre el cuerpo.

El Institut Santé et sécurité au travail Francés (INRS, 2020) facilita a través de su web incluye [información de interés sobre los exoesqueletos](#): Lo que hay que recordar, ¿de qué estamos hablando?, identificación de riesgos, medidas de prevención vinculadas al funcionamiento colaborativo, preguntas frecuentes y publicaciones y enlaces útiles. En su trabajo [10 idées reçues sur les exosquelettes](#) (10 conceptos erróneos sobre los exoesqueletos, 2018) define el exoesqueleto como es un sistema mecánico o textil que lleva la persona trabajadora y tiene como objetivo proporcionar asistencia física en la ejecución de una tarea, compensando sus esfuerzos y/o un aumento de sus capacidades motoras (aumento de la fuerza, asistencia fuerza, asistencia al movimiento, etc.).

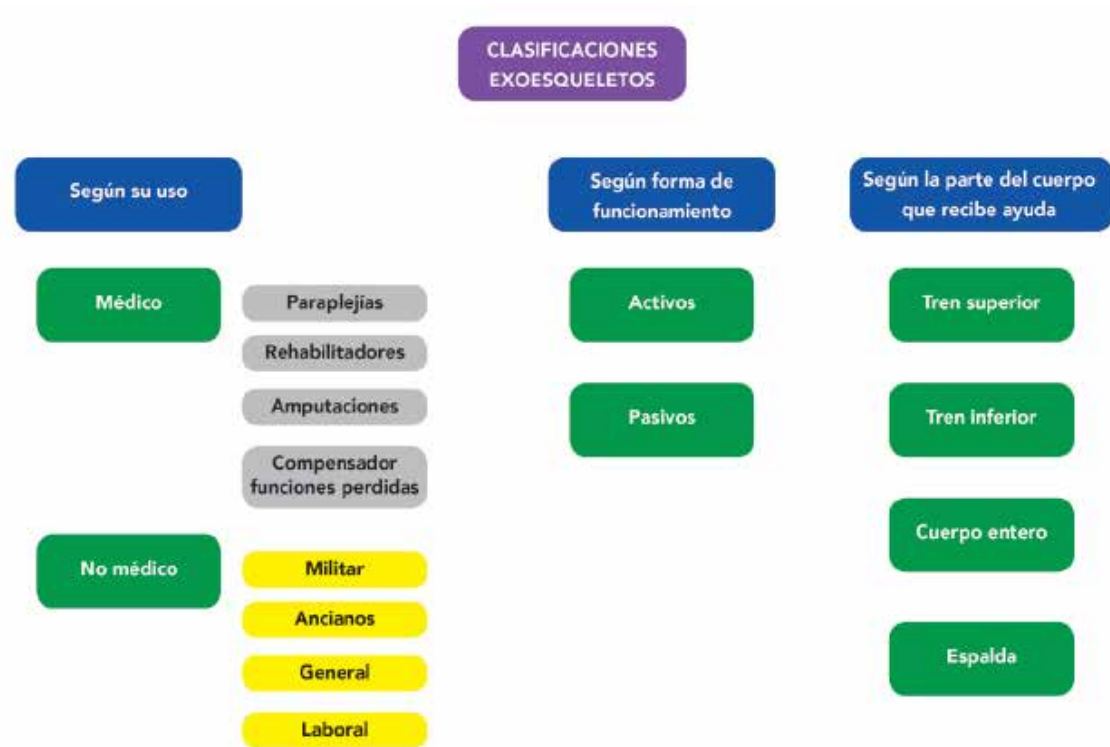
El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo en España (INSST) publica un artículo en su Revista Seguridad y Salud en el Trabajo dedicado a los exoesqueletos²⁰ (2021). Incorpora una definición ampliamente extendida en la literatura para el término **exoesqueleto**²¹ (Michiel P. de Looze et col, 2016): *"Dispositivos externos portátiles (en inglés, wearable) que se colocan sobre el cuerpo de la persona portante, utilizados con el objetivo de incrementar sus capacidades y también proteger a quien lo lleva incorporado y disminuir la carga física durante el desempeño de su actividad laboral"*.

¹⁹ Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. (ISO 10218-2:2011).

²⁰ Zubizarreta Molinuevo J, Álvarez Bayona T, Planas Lara A, Tomás Royo A y Ducun Lecumberri M. (2021). *Exoesqueletos: Actualidad y Futuro en PRL*. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), nº 108: 50-60 octubre 2021.

²¹ Michiel P. de Looze, Tim Bosch, Frank Krause, Konrad S. Stadler y Leonard W. O'Sullivan (2016). *Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load* (Exoesqueletos para aplicaciones industriales y sus efectos potenciales sobre la carga de trabajo físico). Ergonomics, 59: 5, 671- 681, DOI:10.1080/00140139.2015.1081988

Este mismo artículo incluye una clasificación de los exoesqueletos en función del objetivo perseguido con su uso, según su forma de funcionamiento y según la parte del cuerpo que recibe la ayuda.



Fuente: Revista Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST, 2021)

Este documento se centra exclusivamente en los exoesqueletos de uso *No médico* y de uso *Laboral*. El objetivo de uso del exoesqueleto en el contexto laboral, 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 musculoesquelética.

Según su forma de funcionamiento se clasifican en exoesqueletos pasivos y activos. La EU-OSHA²² (Peters, M. y Wischniewski, S., 2019) identifica también un tercer grupo de exoesqueletos, el híbrido. Este tipo de dispositivos pueden ser sistemas activos o pasivos. Utilizan actividades de ondas cerebrales (señales de EEG) o activación muscular para iniciar los movimientos. Sin embargo, su uso en la industria es poco probable al menos, en la actualidad.

²² Peters, M. y Wischniewski, S. (2019). *Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y salud en el trabajo*. Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

- **Exoesqueleto activo** o con alimentación eléctrica.

Es caro y poco evolucionado. Algunos de estos exoesqueletos activos son considerados un tipo de robot de Clase 3 (según la clasificación detallada en el punto anterior sobre Robots Colaborativos), aunque con un desarrollo y evolución muy inicial.

Utilizan baterías o cables eléctricos conectados a una red de suministro para el funcionamiento de sus sensores y actuadores. Cuentan entre sus componentes con partes móviles, accionadas por motores eléctricos o neumáticos, para ayudar en los movimientos que lleva a cabo la persona, permitiendo con ello aumentar su capacidad física o disminuyendo la fatiga.

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 uso no esté actualmente extendido. Sus características complejas los hacen incluso peligrosos, ya que un mal funcionamiento del sistema de control o de los mandos o un error de la persona, puede provocar accidentes y lesiones. Incluso su peso y sus dimensiones, pueden dificultar una posible evacuación del puesto de trabajo por parte de la persona portante, provocar pérdidas de equilibrio, etc.

- **Exoesqueleto pasivo** o sin alimentación eléctrica.

Es más barato que el activo. Aprovecha y potencia la energía generada por la persona usuaria en el movimiento y la fuerza que ejerce. La almacena y la reparte distribuyendo la carga física soportada por diferentes segmentos corporales, para evitar la sobrecarga de una o varias zonas corporales concretas.

Llevan incorporados muelles, bisagras o amortiguadores que pueden utilizarse para la redistribución del peso, para la captura de energía y/o para la amortiguación. No aporta una fuerza adicional, sino que hace un reparto del esfuerzo físico realizado redistribuyéndolo a zonas musculares más potentes, por lo que el músculo que inicialmente realiza el trabajo debe ejercer menos fuerza propiciando la reducción de la fatiga y con ello, reduciendo el riesgo de sufrir un daño musculoesquelético.

Este tipo de exoesqueletos pasivos no son exactamente un robot, ya que no cumplen todos los requisitos exigibles para su consideración como robot y no pueden clasificarse como tal (según la clasificación detallada en el punto anterior sobre Robots Colaborativos).

A nivel preventivo se está iniciando la prueba piloto en empresas de los exoesqueletos pasivos, con la finalidad de reducir el esfuerzo físico y postural en tareas concretas. Respecto a las posibles ventajas que pueden proporcionar los exoesqueletos pasivos, el artículo de la Revista de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST, 2021) menciona algunos ejemplos que se complementan con el trabajo realizado por Mutua Universal²³. Principalmente los exoesqueletos pasivos actúan en distintas zonas corporales específicas:

²³ Planas Elvira, AE, Tomás Royo JA y Ducun Lecumberri M. (2020) *Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos. Mitos, leyendas y certezas*. Mutua Universal – Mugenat, Mutua colaboradora con la Seguridad Social nº10.

- La espalda en la zona lumbar para facilitar una inclinación no forzada de forma prolongada sin gravedad y manipular cargas a nivel del suelo. Pueden ayudar a proteger la zona lumbar de sobrecargas o posturas forzadas. Este tipo de exoesqueleto no servirá para tareas o acciones específicas de manipulación o transporte de cargas.

En el caso de la espalda dorsal y los hombros para facilitar las posturas estáticas con los brazos elevados de forma mantenida. Este tipo de exoesqueleto no servirá para trabajos con la espalda erguida, ni para trabajos en posición sentada.

- Las extremidades superiores o tren superior puede ayudar a soportar el peso de las herramientas y de los brazos, en especial cuando se trabaja con éstos elevados por encima de los hombros. Algunos de ellos son específicos para las manos.

Por medio del dispositivo tipo guante para ejercer fuerza de agarre mantenida. Este tipo de exoesqueleto no servirá para trabajos que requieran movimientos rápidos con manos y dedos.

- Las extremidades inferiores o tren inferior pueden mejorar el desempeño de las piernas o permitir un apoyo continuado durante el desarrollo de la tarea.

Mediante el posicionador sedente (llamado comúnmente, silla sin silla) para posturas de pie con pequeños desplazamientos. Este tipo de exoesqueleto no servirá para trabajos en postura sentada, como sustitutivo de una silla, taburete o con apoyo semisentado (apoyanalgas).

- Los exoesqueletos de cuerpo entero pueden mejorar las capacidades tanto de los miembros superiores como inferiores.

A día de hoy el exoesqueleto pasivo es el tipo de exoesqueleto que cuentan con una presencia más extendida en las empresas.



A nivel internacional la norma [ISO 8373:2021 Robotics-Vocabulary](#) define el exoesqueleto pasivo como un mecanismo desarrollado con tecnología robótica que no cumple al completo con todas las características de un robot (por lo que no es un robot). Entre los ejemplos de dispositivo robótico cita un manipulador remoto teleoperado, un dispositivo háptico (modelado 3D, realidad virtual), un efector final (herramienta especial que permite al robot colaborativo realizar una acción concreta) y el exoesqueleto sin alimentación eléctrica, es decir, un exoesqueleto pasivo.

En el ErgaNoticias número 148 (INSST, 2020) se incluye una breve noticia dedicada a los [Exoesqueletos y la prevención de trastornos musculoesqueléticos](#), en el que define exoesqueleto en el ámbito laboral, como un apoyo que puede reducir la tensión física en el lugar de trabajo. En esta misma noticia, se expone como el uso de exoesqueletos puede ayudar a reducir la carga de trabajo físico, como el levantamiento de cargas pesadas, la realización de tareas repetitivas o el trabajo realizado por encima del nivel de la cabeza. También puede reducir la tensión muscular en las zonas del cuerpo más afectadas, como la parte baja de la espalda o los hombros o puede ayudar a los trabajadores y las trabajadoras con limitaciones o discapacidad física.

Como inconvenientes también menciona la importancia de no olvidar, que su uso puede facilitar la aparición de nuevos riesgos potenciales para la salud debido a la redistribución de la tensión muscular a otras zonas del cuerpo, a algunos aspectos relacionados con su diseño y funcionalidad o a los efectos a largo plazo que su uso pueda tener relacionados a nivel fisiológico, psicosocial y biomecánico. Vistas las posibles ventajas e inconvenientes que pueden ofrecer los exoesqueletos pasivos en base a la zona corporal a la que ayude, parece ser muy relevante incidir en que para la elección del exoesqueleto adecuado será clave el resultado de la **evaluación ergonómica del riesgo en el puesto de trabajo**, a partir de la identificación del peligro para la salud musculoesquelética de los trabajadores y de las trabajadoras expuestas.

Regulación legislativa y normalización

La [Directiva de Máquinas 2006/42/CE](#), transpuesta al derecho español por el [Real Decreto 1644/2008](#), de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas es de aplicación a los exoesqueletos y los robots, que cuentan con partes móviles accionadas por motores como son **los exoesqueletos activos y los robots colaborativos de uso industrial**, equipados con una herramienta y diseñado para una aplicación específica. Como tal, la máquina (robot completo) debe cumplir los requisitos esenciales de salud y seguridad impuestos por la Directiva y/o Real Decreto, y la empresa debe asegurarse de que esta máquina vaya acompañada de una declaración de conformidad CE²⁴.

En el caso de **los exoesqueletos activos y pasivos con finalidad médica** se cuenta con una regulación específica por medio de la [Directiva Europea 93/42/CEE del Consejo de 14 de junio de 1993, relativa a productos sanitarios](#). Esta directiva fue transpuesta a la legislación española y, por ello, actualmente los productos sanitarios siguen lo establecido en el [Real Decreto 1591/2009, de 16 de octubre, por el que se regulan los productos sanitarios](#). En cuanto a la normalización técnica para robots sanitarios, en estos momentos se encuentra vigente la norma UNE-EN ISO 13482:2014 (idéntica a ISO 13482:2014) sobre *Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots no industriales. Robots de asistencia personal no médicos*.

²⁴ Jean-Christophe Blaise, Laurie Brun, Adriana Savescu, Adel Sghaier, David Tihay et Lien Wioland (2020). [10 questions sur les robots collaboratifs](#) (10 preguntas sobre robots colaborativos). INRS ([Institut National de Recherche et de Sécurité](#))

Sin embargo, respecto a los **exosqueletos pasivos de uso industrial**, hay un profundo debate, rechazándose en general, su consideración como Equipos de Protección Individual (EPI) no siéndoles de aplicación 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 (proviene de la Directiva 89/686/CEE que se está transfiriendo gradualmente al nuevo Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual). Pese a este rechazo en su consideración como equipo de protección individual, la Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo publicó un documento de consulta²⁵ (Peters, M. y Wischniewski, S., 2019) en el que los exoesqueletos pueden describirse como una ayuda técnica y también pueden ser definidos como un equipo de protección individual. Su clasificación depende en gran medida de su aplicación, diseño y uso previsto. Por lo tanto, los exoesqueletos solo pueden evaluarse en la actualidad mediante un enfoque caso por caso, individual. En la práctica, es factible que los exoesqueletos se utilicen como dispositivos técnicos para facilitar los procesos de trabajo. Si el exoesqueleto se certifica (examen de tipo CE por un organismo autorizado) como una ayuda técnica, los exoesqueletos estarán ligados a los lugares de trabajo y no pueden utilizarse en todas las situaciones laborales imaginables, a menos que hayan sido considerados para dicha aplicación. Además, los dispositivos técnicos no son medidas personales y su uso es voluntario (como se explica en mayor profundidad, más adelante).

Sin embargo, si pese a la controversia y la actual discusión, se utilizan con la finalidad de proteger a los trabajadores y las trabajadoras de forma individual frente al riesgo de sufrir un Trastorno Musculoesquelético (TME), podría considerarse un equipo de protección individual. Así, si este se certifica (examen de tipo CE por un organismo autorizado) como EPI, su uso se prescribiría legalmente. En este caso, la persona trabajadora debería ir equipada con un exoesqueleto mientras estuviera expuesta a un incremento de la carga física de trabajo. Hasta la fecha (noviembre, 2021) ningún exoesqueleto se ha comercializado como un EPI. Sin duda, se trata de una gran laguna legal y normativa a resolver.

Además, en el campo de los robots colaborativos de uso industrial empiezan a trabajarse y a desarrollarse las especificaciones técnicas de seguridad por medio de la ISO/TS 15066:2016 *Robots and robotic devices — Collaborative robots*²⁶. Sin embargo, en el caso de los exoesqueletos, tan solo la norma ISO 18646-4:2021²⁷ (*Robótica. Criterios de rendimiento y métodos de prueba relacionados para robots de servicio. Parte 4: Robots de soporte lumbar*) trata directamente a los exoesqueletos activos de servicio, pero no a los exoesqueletos de uso industrial.

La falta de normas técnicas internacionales hace más difícil cumplir con unos requisitos y exigencias mínimas de seguridad y salud de la empresa fabricante de los exoesqueletos pasivos de uso industrial que debe certificarlos (o como ayuda técnica o como EPI), dificultando también la comercialización de estos dispositivos en el mercado único europeo. En consecuencia, parece ser necesario el desarrollo y actualización de documentos y normas técnicas que sirvan de guía, para adaptarse a estos nuevos dispositivos y poder regular sus exigencias en seguridad y salud.

²⁵ Peters, M. y Wischniewski, S. (2019). *Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y salud en el trabajo*. Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

²⁶ [ISO / TS 15066:2016 Robots and robotic devices — Collaborative robots](#). Especifica los requisitos de seguridad para los sistemas de robots industriales colaborativos y el entorno de trabajo, y complementa los requisitos y la orientación sobre la operación de robots industriales colaborativos dados en ISO 10218-1 e ISO 10218-2.

²⁷ [ISO 18646-4:2021 Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 4: Lowerback support robots](#). Describe métodos para especificar y evaluar el rendimiento de los robots de servicio de soporte lumbar. Se aplica independientemente del propósito y la aplicación de los robots de soporte lumbar y el sistema de alimentación eléctrico, hidráulico y neumático. Este documento no se aplica a los robots médicos, aunque los métodos de prueba especificados se pueden utilizar para robots médicos.

Incluso el Parlamento Europeo²⁸ (PE, 2017) pone de relieve la importancia de definir normas sobre la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías robóticas donde se incluyen los robots colaborativos y los exoesqueletos, con el fin de posibilitar el intercambio de información y facilitar su uso. Además, el PE pide a la Comisión Europea que continúe trabajando por la armonización internacional de las normas técnicas que garanticen un elevado nivel de seguridad en el entorno de trabajo. Además, acoge favorablemente, en este sentido, la creación de comités técnicos especiales, como el ISO/TC 299 Robótica, dedicados exclusivamente a la elaboración de normas sobre robótica (22.) También subraya (23.) que los ensayos de robots, en situaciones reales es esencial para determinar y evaluar los riesgos que puedan entrañar de conformidad con el principio de precaución, anticipándose a los posibles impactos de sus resultados sobre la seguridad y salud de las personas trabajadoras.

Uso y aplicación por sectores de actividad

El uso y la aplicación del robot industrial y en concreto, del **robot colaborativo** tiene cabida actualmente en gran diversidad de sectores de actividad, puestos de trabajo y tareas concretas, tales como la logística, mantenimiento, alimentación, metalúrgica, automoción, química, artes gráficas, laboratorios, cirugía, etc.

El objetivo preventivo que persigue el uso y aplicación del robot colaborativo industrial parece ser muy amplio y ambicioso, abarcando gran parte de las disciplinas en materia de prevención de riesgos laborales. Por ejemplo, el uso y aplicación del robot colaborativo persigue la eliminación o al menos, la reducción de:

- La exposición a riesgos de seguridad muy graves o mortales derivados de atrapamientos y aplastamientos.
- La exposición a riesgos químicos, biológicos, físicos por ruido y radiaciones.
- La exposición a los riesgos psicosociales derivados de la organización del trabajo.
- La exposición a los riesgos ergonómicos derivados de los sobreesfuerzos asociados a la manipulación manual de cargas, de movimientos repetitivos de alta frecuencia y de la adopción de posturas forzadas extremas (repetidas y/o mantenidas). En el caso particular de la manipulación manual de cargas gana terreno la automatización y los robots industriales tradicionales, ya que su mayor capacidad permite levantar y transportar más peso que un robot colaborativo.

El uso y aplicación del **exoesqueleto pasivo** parece asociarse más directamente a las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo, en los que se dan situaciones de riesgos por posturas forzadas extremas y mantenidas principalmente. El exoesqueleto pasivo puede plantearse como una posible opción cuando no existe una alternativa técnica que solucione el problema ergonómico, o cuando esta no sea viable²⁹. Es decir, antes de plantearse incluso la implementación de un exoesqueleto pasivo como una opción para el control de los riesgos ergonómicos en un puesto de trabajo, se debe valorar la posibilidad de adoptar otro tipo de medidas ergonómicas que actúen en la eliminación del riesgo en origen y además, que sean colectivas, protegiendo al mayor número de personas trabajadoras expuestas. Por ejemplo, un exoesqueleto diseñado para levantamiento y transporte de cargas, no debe sustituir a una carretilla elevadora, a una traspaleta o incluso una grúa en sus distintas modalidades (puentes grúa, maquinillos, etc.) cuando estos equipos de trabajo sean viables³⁰.

²⁸ Parlamento Europeo (2017). *Normas de Derecho civil sobre robótica*. Resolución de 16 de febrero de 2017, con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho civil sobre robótica (2015/2103(INL)). Texto aprobado, Estrasburgo.

²⁹ Planas Elvira, AE, Tomás Royo JA y Ducun Lecumberri M. (2020) *Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos. Mitos, leyendas y certezas*. Mutua Universal – Mugenat, Mutua colaboradora con la Seguridad Social nº10.

³⁰ Atain Kouadio J-J, Kerngveven L y Turpin-Legendre E (2018). *Guide pour les préventeurs. Acquisition et intégration d'un exosquelette en Entreprise (Adquisición e integración de un exoesqueleto en una empresa)*. INRS (*Institut National de Recherche et de Sécurité*)

El proyecto *R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0*³¹ (2019) muestran algunos ejemplos de sectores y puestos de trabajo o actividades donde se utilizan exoesqueletos para el desempeño de tareas en las que se adoptan posturas forzadas o mantenidas y/o existe manejo manual de cargas. En la siguiente tabla se muestra el sector y el puesto o tarea predominante.

SECTORES, PUESTOS DE TRABAJO Y TAREAS CON MAYOR USO Y APLICACIÓN DE EXOESQUELETOS PASIVOS	
Sector industrial	Puesto y tarea
Metalúrgico	Instalaciones eléctricas
Automoción	Montaje en cadena
Aeronáutica	Fabricación y montaje
Construcción	Pintura y albañilería
Bienes de equipo y electrodomésticos	Fabricación y montaje
Logística	Almacén
Sector agrícola	Puesto y tarea
Apicultura	Recolección
Agricultura	Siembra y recolección

En el caso de la actividad industrial destaca el uso del exoesqueleto en las tareas de fabricación y de montaje que exigen principalmente, manipulación manual de cargas y trabajar con el brazo por encima de la cabeza. En el caso del sector agrícola destacan las acciones por levantamiento, empuje y arrastre de cargas manualmente y la inclinación de tronco hacia delante en tareas de siembra.

La EU-OSHA³² (2019) en su estudio *Impacto de la utilización de los exoesqueletos en la seguridad y la salud en el trabajo* habla de los exoesqueletos en el ámbito laboral como un tema que actualmente es objeto de controversia. Parte de la necesidad de mejorar las condiciones de trabajo ergonómicas principalmente en tareas de manipulación manual de cargas y acciones concretas en las que es preciso elevar el brazo por encima de la cabeza adoptando posturas forzadas y mantenidas, y enlaza esta necesidad con las posibilidades que ofrece el exoesqueleto pasivo.

Sin embargo, aunque algunos modelos de exoesqueletos pasivos están disponibles comercialmente, la ayuda que proporcionan es limitada, aliviando solo las exigencias físicas y posturales de algunas partes del cuerpo. Por ejemplo, su uso durante las tareas de levantamiento manual de cargas pesadas sigue siendo muy limitada.

Los sectores de mayor a menor impacto

IndustriALL Global Union en su documento de debate (2017)³³ realiza un repaso por los sectores según el mayor o menor impacto de la industria 4.0 en el corto y medio plazo. A partir de esta selección y orden preestablecido, se describe brevemente el sector en relación a la automatización de procesos/puestos; a la incorporación de tecnologías digitales; y respecto a la tecnología robótica, al uso y aplicación de los robots colaborativos y de los exoesqueletos pasivos en el desempeño del puesto de trabajo o una tarea concreta. Del mismo modo, se incluyen algunos ejemplos en la implementación de robots colaborativos y exoesqueletos pasivos en diferentes sectores de actividad.

³¹ AIDIMME, FEMEVAL FEVAMA, Unión de Mutuas, Unimat Prevención y Agrupación innovadora Valmetal, Generalitat Valenciana (2019). *Guía 4 Exoesqueletos y prevención de riesgos laborales*.

³² Peters, M. y Wischniewski, S. (2019). *Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y salud en el trabajo*. Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

³³ IndustriALL Global Union (2017). *El Desafío de la industria 4.0 y la exigencia de nuevas respuestas*.

SECTORES DE MENOR A MAYOR IMPACTO DE LA INDUSTRIA 4.0

Impacto inmediato menor	Impacto moderado	Impacto mayor
Metalúrgico Minero Textil, confección y cuero	Aeroespacial Automoción Químico, farmacéutico, papelerero y del caucho Materiales Construcción naval y desguace de buques	Energético TIC, electricidad y electrónica Ingeniería mecánica Colectivo trabajador no manual "de cuello blanco"

El impacto inmediato de la Industria 4.0 es menor en el sector de metal, el minero y el sector textil, de confección y cuero. Los motivos del menor impacto son bastante coincidentes en este grupo de sectores, entre el que destaca el alto coste económico que supone la incorporación de tecnología robótica en comparación con la mano de obra de bajo coste con la que se cubren muchos puestos de trabajo. En cualquier caso, se va introduciendo poco a poco la automatización de procesos, pero no, de los robots colaborativos ni de los exoesqueletos.

Sector minero. Hasta ahora, las nuevas tecnologías han sido empleadas en el sector cuando la inversión puede justificarse por circunstancias excepcionales, como puede ser la extracción del mineral de uranio altamente enriquecido, que debido a su peligro de radiación no puede ser realizada por las personas trabajadoras de forma segura. En este sector existe actualmente tecnología robótica capaz de sustituir a las personas en su puesto de trabajo y a medida que el coste de la automatización disminuya, se irá incrementando la sustitución de la persona por el robot industrial tradicional.

Sector metalúrgico. Muchos puestos de trabajo en este sector exigen una combinación de competencias cognitivas e intensidad de trabajo relativamente altas que no es fácil automatizar, incluso mediante la robótica avanzada, lo que resultaría una inversión inicial alta y poco rentable para las empresas, al menos a corto plazo.

Sector textil, confección y cuero. Hay robots que pueden desempeñar las tareas que se realizan actualmente las personas con las máquinas de coser. A medida que se prueba esta tecnología robótica automatizada, cientos de miles, o quizás incluso millones, de trabajadores y trabajadoras de máquinas de coser podrían estar en riesgo de perder su trabajo.

EJEMPLO

[UNIVERSAL ROBOTS](#) es una agrupación a nivel mundial de fabricantes de robots con sede en Cataluña. En su web Incluye información teórica, noticias y ejemplos de casos prácticos sobre los robots colaborativos implementados en empresas de distintos países, sectores y actividades. Muchos de los ejemplos que se muestran en este documento pertenecen a esta web, el idioma utilizado en los videos más generalizado es el inglés.

BWIndustrie

Compañía francesa especializada en el desengrase industrial y la fabricación de piezas mecánicas en serie que ha integrado robots colaborativos [UR5 Y UR10](#) para las tareas como la carga y descarga de tornos, el control de calidad de tubos metálicos y el desbarbado de piezas metálicas cuyo peso oscila entre los 4 y los 14 kilos. Estas soluciones han supuesto mantener su competitividad, aumentar un 50% su plantilla e incrementar los ingresos en casi un 70%. La compañía también ha reducido el riesgo de sufrir trastornos musculoesqueléticos y ha propiciado, de esta manera, un entorno de trabajo más saludable.

El impacto moderado de la Industria 4.0 se identifica principalmente en el sector aeroespacial, en automoción, en el sector químico, farmacéutico, papelerero y del caucho, en el sector de materiales y en la construcción naval y el desguace de buques. Los motivos comunes más destacables de este impacto moderado son la avanzada automatización de procesos que va a ir acompañada de un gran avance en la tecnología robótica en la que se da cabida al uso y aplicación de los robots colaborativos y los exoesqueletos pasivos para el desempeño de tareas específicas de difícil automatización.

Sector aeroespacial. La automatización del sector es bastante alta y se incrementará aún más a través de la robótica avanzada por ejemplo, con los robots colaborativos en el desarrollo de tareas el montaje.

Sector automoción. Se encuentra en gran medida automatizado, por lo que es de esperar que este experimente una digitalización aún mayor del proceso de fabricación. En la actualidad se sitúa a la cabeza en el uso y aplicación de robots colaborativos en el montaje de componentes y de exoesqueletos en montaje en cadena de vehículos a motor.

Sector químico, farmacéutico, papelerero y del caucho. Estos sectores se encuentran relativamente avanzados con respecto a la automatización. El control de procesos por computadora es más la norma que la excepción. Los puestos de trabajo de embalaje y envío podrían estar en riesgo. Por ejemplo, la empresa [Duc Giang Chemical & Detergent Powder JSC](#) reemplazó con robots industriales tradicionales a casi el 90 % de la mano de obra en su fábrica de detergente en Vietnam.

EJEMPLO

En hilo a esta situación de automatización desmedida, se suma un riesgo añadido, el insuficiente número de personas trabajadoras en la planta que en muchas ocasiones contiene materiales muy peligrosos, aumentando el nivel de riesgo tanto para la plantilla como para las personas ajenas a la empresa. Sirva de ejemplo, el [desastre ocurrido en 2020 en Beirut por la explosión en una planta de nitrato de amonio](#) que causó 205 personas muertas y más de 6.500 heridas en la capital libanesa.

Sector de materiales. Se incluyen empresas productoras de cemento, vidrio, cerámicas, etc. La Federasi Serikat Pekerja Industri Semen Indonesia (FSP ISI), afiliada a IndustriALL Global Union, informó que el uso de estas nuevas tecnologías ha reducido el número de empleos manuales. Mientras tanto, los empleos no manuales y altamente cualificados ven aumentada su demanda, al mismo tiempo que la transformación digital incorpora mayor complejidad a su trabajo.

Sector de la construcción naval y desguace de buques. La fabricación en la construcción naval puede compararse con el sector aeroespacial y la automoción, aunque tiende a involucrar más tareas manuales debido al peso y tamaño de los componentes a transformar. Cada barco es más o menos construido a medida, lo que convierte a la automatización en algo difícil pero no imposible. El desguace de buques, por otra parte, aglutina un gran número de personal con tareas muy manuales que desmantelan navíos enteros para su reciclaje, a bajo coste y de forma muy poco tecnológica.

EJEMPLO

SEAT Componentes.
Manipulador móvil industrial colaborativo.

Objetivo: Introducir mejoras en ergonomía en diferentes puestos de trabajo en los que se realiza manipulación manual repetida de piezas de peso considerable y mejorar la productividad de la planta al incrementar el flujo de materiales entre diferentes espacios del proceso de producción.

Fuente: Estratègia i intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ (2021). [Capacitats i tecnologies vinculades a la indústria 4.0 a Catalunya: informe tecnològic](#). Generalitat de Catalunya.



Los sectores de mayor impacto de la Industria 4.0 son el sector energético, el de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la electricidad y la electrónica, la ingeniería mecánica y el de las personas trabajadoras no manuales “de cuello blanco”. En estos sectores, este mayor impacto no se refiere al avance en las tecnologías robóticas sino más bien, al gran avance en tecnologías digitales para la automatización y digitalización de procesos y de sistemas, aunque en el sector TIC y en la electrónica, los robots colaborativos van tomando terreno.

Sector energético. Junto con la industria química, el recorte de personal continuo en las refinerías de petróleo e industrias petroleras, por ejemplo, ha planteado interrogantes en relación con la seguridad. Al ser esta industria cada vez más dependiente de dispositivos automáticos de apagado a la hora de lidiar con emergencias, simplemente no cuenta con la cantidad suficiente de personas trabajadoras en planta que puedan dar respuesta en caso de que estos sistemas automáticos fallen.

Sector de las TIC, electricidad y electrónica. Estos sectores incluyen el desarrollo de las computadoras, la radio, la televisión y la comunicación, los equipos médicos de precisión, etc. y puede experimentar un crecimiento significativo ya que es el proveedor de muchas de las tecnologías que serán demandadas por otros sectores. Por ejemplo, la digitalización de la fabricación industrial implica que tanto la maquinaria como los sistemas de control requieran información sofisticada y tecnologías de la comunicación y una mayor demanda en el sector TIC, electricidad y electrónica. En general, este sector es el que posee mayores probabilidades de verse afectado por la robótica más avanzada en los procesos de montaje, por medio de la automatización y con los robots colaborativos.

EJEMPLO

RUPES. (Ejemplo de [UNIVERSAL ROBOTS](#))

Esta empresa francesa fabrica herramientas eléctricas con piezas muy pequeñas. La etapa de ajuste del montaje suele ser la más difícil. Se integraron robots de UR en su línea de producción que realizan las tareas más agotadoras y repetitivas. Para el personal, la instalación y programación de los robots fue fácil y rápida, y tuvieron una repercusión inmediata: mantuvieron la calidad del producto y mejoraron la productividad.

Sector de la ingeniería mecánica. Aparte del sector TIC, el de la ingeniería mecánica será uno de los más afectados por la digitalización de la producción. La nueva producción requiere nueva maquinaria, por lo que habrá un aumento en la demanda de ingeniería mecánica de tecnología avanzada. Pero mientras la producción pierde empleos, en el diseño industrial y diversas disciplinas de ingeniería podrían crearse más puestos, debido a la demanda creciente de equipos de ingeniería mecánica avanzada.

EJEMPLO

El exoesqueleto [MATE](#) (Muscula Aiding Tech Exoskeleton) genera una reducción constante en la activación de los músculos del hombro durante actividades en las que sea necesario elevar los brazos, mejorando su ergonomía, postura y reduciendo la tensión muscular, sosteniendo los brazos y los hombros. Dispone varios niveles y tallas, que la persona usuaria puede ajustar.

Se elaboró con un enfoque de diseño centrado en la persona, las trabajadoras y los trabajadores participaron desde el inicio del proyecto y sus necesidades y sugerencias han impulsado el proceso de desarrollo del exoesqueleto.

Un ejemplo de aplicación : OSSUR

Empresa islandesa dedicada al diseño y fabricación de aparatos ortopédicos con una plantilla de 4000 personas. Con el objetivo de reducir las enfermedades profesionales de origen musculoesquelético mediante la introducción de un dispositivo pasivo [COMAU MATE](#) sin baterías ni sistemas de actuación para aquellas tareas en las que se requieren elevación de brazos y torsión del hombro. Este dispositivo soporta el movimiento fisiológico de la espalda, adaptándose a las posturas más adecuadas, reduciendo la fatiga muscular y cardíaca. Está disponible en diferentes tamaños, es ajustable para cualquier persona, tiene siete niveles de regulación según la altura, el peso y la tarea específica.

Sectores con trabajo no manual realizado por trabajadoras y trabajadores denominado ‘de cuello blanco’. El trabajo implica principalmente obtener, manejar, utilizar, modificar, analizar y distribuir la información y el conocimiento en lugar de bienes o de productos, incluso aunque a veces tengan contacto manual con estos. Hasta hace poco, se pensaba que los trabajadores y las trabajadoras de estos sectores serían relativamente inmunes a los efectos de la automatización y la subcontratación. Esto ya no es así, debido a que los sistemas de inteligencia artificial podrían llegar a tener un impacto significativo en los trabajos más cualificados. Todos los empleos vinculados a la administración, soporte técnico, análisis e ingeniería están sujetos al reemplazo por computadoras de tecnología avanzada y, en última instancia, por sistemas de inteligencia artificial (IA).

EJEMPLO

IndustriAll Global Union en su informe (2017) identifica al colectivo de ‘cuello blanco’ como uno de los que incrementará cada vez más estrés laboral. En este colectivo ya puede observarse una tendencia al aumento de las horas laborales de trabajo, a la vez que el límite entre el trabajo y el tiempo libre se vuelve cada vez más difuso (sin desconexión digital). Si a esto se le suma un rápido aumento de las competencias requeridas y una presión constante para ajustarse a estas, el colectivo de ‘cuello blanco’ se convierte en el foco perfecto para un incremento drástico de los casos de depresión y desgaste profesional, así como de otras afecciones relacionadas con el estrés como el cáncer y las enfermedades circulatorias.

Todos los sectores mencionados a nivel de producción son sectores muy masculinizados. Por lo que respecta al colectivo de mujeres trabajadoras llama la atención el informe sobre [L'impacte laboral de la Indústria 4.0](#)³⁴ que publica la Generalitat de Catalunya (2018) en el que se incluye la siguiente afirmación del *Federal Ministry of Labour and Social Affairs (Alemania, 2016)*: *es imposible dar una respuesta clara a la pregunta de qué efectos tendrá la digitalización sobre el colectivo de mujeres trabajadoras. Por un lado, las mujeres se ven comparativamente menos afectadas por el impacto de la actividad industrial (porque tienen poca presencia), mientras, que por otro lado, el potencial de la automatización es limitado en los puestos de trabajo en los que las mujeres tienen mayor presencia como son la sanidad, la educación y las actividades sociales. Por otro lado, hay ocupaciones con alta presencia femenina, como el trabajo de administración y el área de oficinas, en banca y de seguros, que tienen una elevada probabilidad de automatización*".

Entre los sectores de mayor demanda de robots industriales la [Asociación Española de Robótica y Automatización](#) (AER, 2018) destaca, los ya mencionados en el informe de *IndustriAll Global Union* (2017), y añade el sector de la alimentación y las bebidas en el que además, se suma un mayor número de mujeres.

En particular, el sector alimentario integró el 12% de los robots industriales instalados en España durante el 2016 (*International Federation of Robotics, IFR-World Robotics en colaboración con AER miembro de la Federación*).

EJEMPLO

COMBILO, empresa holandesa dedicada a la comercialización de frutas y verduras, intermedia entre la persona productora y el comercio minorista o mayorista, decide integrar robots colaborativos [OMROM](#) en la tarea de empaquetado de tres piezas de pimientos de diferentes colores (verde, amarillo y verde, llamada el semáforo). Esta tarea entraña un esfuerzo físico considerable para los miembros superiores, sobre todo mano-muñeca. Según la empresa esta mecanización ha resultado un proceso más eficiente, más rápido y con menos fallos. Contando con la información que se explica en el vídeo, el objetivo de esta implantación se centra en un aumento de la productividad, de hecho se plantea la automatización de todos los procesos posibles y puede suponer la pérdida de puestos de trabajo.

Otro ejemplo de la integración de robots colaborativos ligada a la mejora de la competitividad se encuentra en la empresa española, también del sector de la alimentación *APERITIVOS SNACK S.A* con la instalación del robot diseñado por [NEOBOTIK](#) en la sección de paletizado.

Implantación en los puestos de trabajo y tareas

Para la incorporación en el puesto de trabajo de un robot colaborativo o de un exoesqueleto pasivo, se deben considerar y seguir **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](#) (LPRL). Su aplicación jerárquica es obligatoria en la empresa, por lo que solo cuando se han agotado todas las medidas técnicas, por ejemplo, el uso de medios auxiliares de elevación o el rediseño de un lugar de trabajo, deben tenerse en cuenta aspectos organizativos como la reorganización de los procesos de trabajo. Por último, se pueden considerar medidas personales para proteger a los trabajadores y a las trabajadoras.

³⁴ Hernandez Gascón JM, Fontrodona Francol J, Morron Salmeron A, Castany Teixidor L, Clavijo Losada M y Tascón Alonso B. (2018). [L'impacte laboral de la Indústria 4.0 a Catalunya](#). Col·lecció papers de l'observatori de la indústria. Departament d'Empresa i Coneixement. Generalitat de Catalunya.

Por tanto, si no es posible evitar el riesgo, el siguiente paso para la mejora de las condiciones de trabajo a nivel ergonómico será realizar **la evaluación de riesgos ergonómica en aquellos puestos de trabajo prioritarios**. Por ejemplo, serán prioritarios los puestos de trabajo con exigencias físicas y posturales moderadas y altas; que acumulen un mayor número de bajas de incapacidad por trastornos musculoesqueléticos; que registren un mayor absentismo y quejas e insatisfacción laboral por parte de la plantilla y su representación legal; y en definitiva, presenten un mayor riesgo de padecer un trastorno musculoesquelético.

La evaluación de riesgos ergonómica es clave en el proceso de diseño tanto del robot colaborativo como del exoesqueleto, de manera que si esta falla, el diseño y su implantación en el puesto de trabajo, con mucha probabilidad también fracasarán.

En este momento inicial del proceso es imprescindible y necesaria la participación de los trabajadores y las trabajadoras, creando un equipo multidisciplinar a partir del Comité de Seguridad y Salud (y en su defecto, con los delegados y las delegadas de prevención de riesgos laborales) que incorpore a personal técnico técnico (ingenierías, diseño, prevención de riesgos laborales, calidad, etc.), responsables intermedios, al departamento de recursos humanos, y todo aquel perfil que se requiera necesario en el proceso.

El incorporar procesos participativos ayudará por ejemplo en el caso del exoesqueleto, a conocer y probar el dispositivo y recoger de primera mano, las primeras impresiones respecto a si es fácil de poner y quitar o si, a priori, podría ser útil para reducir el esfuerzo en alguna tarea concreta.

En esta línea, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2020) en la [NTP 1137: Ergonomía participativa un enfoque diferente en la gestión del riesgo ergonómico](#), establece que puede ser interesante llevar a cabo la participación a través de técnicas de **ergonomía participativa**, pues el éxito en la implantación de un nuevo equipo puede estar altamente influido por cómo se plantee la colaboración y participación en la empresa.

La creación de un equipo multidisciplinar al que se le informa del porqué y del para qué y que participa desde el inicio será básico para la realización de un buen análisis y facilitar la aceptación final del robot colaborativo y del exoesqueleto. *Por ejemplo, en el caso del exoesqueleto, si no se informa y simplemente se entrega el exoesqueleto a la persona trabajadora, el fracaso está garantizado*³⁵.

Debido a lo novedoso de estos equipos, otro aspecto que se debe considerar es la **voluntariedad** en el uso. Una vez identificados los puestos y las tareas en los que se podrían utilizar exoesqueletos como dispositivo de ayuda, su uso debe ser voluntario. Poco a poco, si se observa el beneficio de su uso, las personas irán aceptando. *La aceptabilidad del exoesqueleto en particular, es esencial para que la medida perdure en el tiempo*. Así lo expone la Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo³⁶ (2019).

³⁵ Planas Elvira, AE, Tomás Royo JA y Ducun Lecumberri M. (2020) [Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos. Mitos, leyendas y certezas](#). Mutua Universal – Mugenat, Mutua colaboradora con la Seguridad Social nº10.

³⁶ Peters, M. y Wischniewski, S. (2019). [Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y salud en el trabajo](#). Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

Volviendo de nuevo a la evaluación ergonómica de los puestos seleccionados como prioritarios se deberá incluir en detalle **información relativa a tres cuestiones básicas**:

- Las zonas corporales más afectadas a nivel musculoesquelético entre las que se identificará el cuello, hombros, espalda dorsal, espalda lumbar, miembros superiores y/o miembros inferiores.
- Una descripción en profundidad del puesto de trabajo según sus condiciones de trabajo y de las personas que lo desarrollan, para lo que es preciso contar con la participación de los trabajadores y las trabajadoras del puesto de trabajo a analizar y de los delegados y las delegadas de prevención de riesgos laborales como parte implicada en la mejora de las condiciones de trabajo.

EJEMPLO

Un ejemplo de Ficha de elaboración para la descripción del puesto de trabajo, la facilita el [Anexo 4 del Manual del Método ERGOPAR³⁷ \(ISTAS, 2014\)](#), definido como un procedimiento de ergonomía participativa para la prevención del riesgo ergonómico de origen laboral. En la ficha se incorporan principalmente: las características individuales y laborales de las personas expuestas (hombres y mujeres), la relación y la descripción de las tareas habituales-periódicas y/o esporádicas desarrolladas en el puesto de trabajo para una visión global de la exposición a factores de riesgo ergonómicos (biomecánicos) y las características de la organización del trabajo, del entorno de trabajo y de las condiciones ambientales como posibles agravantes de las lesiones musculoesqueléticas.

En relación a esta información tan necesaria la EU-OSHA³⁸ (2020) conjuntamente con el INAIL-IIT (Istituto Nazionale per L'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro, Italia) publica el resultado de un estudio sobre los **exoesqueletos** y cómo maximizar su potencial para reducir los TME de origen laboral. Aborda esta información descriptiva y se refieren a las tareas desarrolladas y en concreto a la carga manipulada (por ejemplo, la masa, el tamaño/dimensión, el agarre/las asas), los aspectos ambientales (por ejemplo, la temperatura, la actividad al aire libre/interior, los espacios restringidos, las características del espacio de trabajo...) las condiciones de producción (por ejemplo, horarios y métodos de trabajo...) las características de las personas trabajadoras (por ejemplo, sexo, edad, cualificación y competencias). La información contenida en este artículo puede considerarse una base potencial para la futura investigación sobre las personas usuarias de los exoesqueletos en el trabajo.

- La idoneidad de la técnica y metodología a emplear en la evaluación de riesgos ergonómica, en base a las zonas corporales y la descripción en profundidad. 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.

Una vez realizada la evaluación de riesgos ergonómica será preciso valorar en el Comité de Seguridad y Salud (o en su caso, con el delegado y la delegada de prevención) junto a los demás miembros del equipo multidisciplinar, los resultados obtenidos y las opciones de mejora ergonómica que propone el servicio de prevención de riesgos laborales. Habrá que definir muy bien las necesidades de mejora del puesto de trabajo para no encontrarse finalmente con una intervención que no cubra las expectativas

³⁷ Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS-CCOO) (2014). *Manual del Método ERGOPAR Versión 2.0. Un procedimiento de ergonomía participativa para la prevención del riesgo ergonómico de origen laboral*. Valencia: ISTAS-CCOO, 2014.

³⁸ Monica L, Anastasi S y Draicchio F (2020). *Occupational exoskeletons: wearable Robotic devices to prevent workrelated musculoskeletal disorders in the workplace of the future* (Exoesqueletos laborales: dispositivos robóticos impedirán en el futuro que se produzcan trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo). Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

esperadas. De entre las posibles alternativas preventivas puede encontrarse el uso y aplicación de un robot colaborativo o bien, como dispositivo de ayuda individual o como medida de protección, un exoesqueleto pasivo.

Un robot colaborativo es muy distinto a un exoesqueleto pasivo por lo que será muy distinto también, su uso y aplicación según el puesto y tarea determinada. A continuación, se detallan las particularidades del procedimiento a seguir en cada caso.

Procedimiento para implantar un Robot colaborativo

El INRS³⁹ ([Institut Santé et sécurité au travail](#) de Francia) explica como los robots colaborativos no son adecuados para todas las situaciones, puestos de trabajo y tareas concretas.

Al igual que no existe una máquina de uso general, tampoco existe un robot colaborativo universal que pueda realizar todas las tareas industriales imaginables. Un mismo robot colaborativo, dependiendo de la herramienta que utilice y de su programación, es susceptible de ser utilizado en diferentes tareas. Sin embargo, cada robot tiene características específicas en cuanto al peso, alcance, precisión, velocidad y carga útil, entre otras cuestiones que lo hacen más o menos adecuado para las tareas industriales. Así, en determinadas situaciones que no requieren la colaboración entre personas y robots, suele ser más apropiado utilizar robots industriales tradicionales, aunque en este caso la automatización de la tarea supondría una mayor sustitución de personas por robots.

Por ejemplo, la [Asociación Española de Robótica y Automatización](#) (2018) identifica las siguientes aplicaciones, según el puesto de trabajo y/o la tarea más predominante en las empresas españolas en las que se han desarrollado e implementado robots colaborativos.

- Empaquetado y paletizado.
- Proceso de moldeo por inyección.
- Análisis de laboratorio.
- Pulido.
- Pegado, dispensado y soldadura.
- Supervisión de maquinaria.
- Montaje y desmontaje.
- Pick & Place.
- Control de calidad.
- Otras aplicaciones.

Los robots colaborativos son utilizados especialmente en aplicaciones para tareas de empaquetado, montaje, carga y descarga de máquinas, mecanizado y logística en la empresa.

Las aplicaciones del robot colaborativo dependerán en primera instancia de la dirección de la empresa, la cual deberá valorar las ventajas y desventajas de su uso y aplicación. Algunos de los elementos a considerar serán: las acciones de carga y descarga (pesos manipulados) durante la tarea, el grado de complejidad a nivel cognitivo de la tarea, la repetitividad y velocidad de la tarea y número de piezas a producir y tiempo efectivo requerido, capacidad de almacenamiento de piezas procesadas, uso del robot dependiendo del número de tareas para las que es aplicable, el costes de la inversión a corto y a largo plazo, y la aceptación de su uso por parte de las personas usuarias.

³⁹ Jean-Christophe Blaise, Laurie Brun, Adriana Savescu, Adel Sghaier, David Tihay et Lien Wioland (2020). *10 questions sur les robots collaboratifs* (10 preguntas sobre robots colaborativos). INRS ([Institut Santé et sécurité au travail](#))

A este proceso de reflexión y valoración, deberá sumarse cuanto antes y de manera participativa, la representación legal de la plantilla y las posibles o futuras personas usuarias del robot, además, de contar con el apoyo y asesoramiento de profesionales técnicos en prevención de riesgos laborales y ergonómicos, y profesionales de ingeniería robótica.

Por tanto, para reflexionar sobre la necesidad y posibilidad de disponer de un robot colaborativo en un puesto de trabajo y para el desarrollo de determinadas tareas, la aplicación del artículo 15 de la LPRL lleva necesariamente y en este orden, a:

1. *Tener en cuenta la evolución de la técnica (e) para sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro (f).*
2. En el caso de que no resulte suficiente con las medidas disponibles el evitar el riesgo (a) para la adecuada adaptación del trabajo a la persona (d), y se hayan evaluado los riesgos identificados que no se pueden evitar (b), será necesario recurrir a otro tipo de estrategias e intervenciones, entre las cuales tiene cabida la incorporación de robots colaborativos. Estos equipos en su implementación deben ir acompañados de una adecuada *planificación preventiva, 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 (g).*

También el INRS⁴⁰ ([Institut Santé et sécurité au travail](#), Francia) detalla los pasos a seguir en la elección del robot más adecuado para el puesto de trabajo y la tarea prevista. Menciona como esencial en la elección, partir de las necesidades propias del puesto de trabajo, de la dirección de la empresa y de la persona usuaria, y comprobar que la solución elegida responde a estas necesidades.

La introducción en la empresa de un robot colaborativo tiene consecuencias para la organización del trabajo, los equipos y procesos de trabajo y las personas trabajadoras. Según la naturaleza del proceso o la complejidad de las tareas, su realización puede ser larga o incluso incompatible con la aplicación prevista. Por tanto, es necesario un enfoque global de la integración de estos equipos, que tenga en cuenta todas las dimensiones de la actividad laboral y que implique a las personas usuarias lo antes posible, con el fin de conocer de primera mano sus necesidades en el puesto y la tarea, y crear un contexto favorable y comunicativo para una mejor aceptabilidad por parte de los trabajadores y las trabajadoras y su representación legal.

EJEMPLOS:

Ejemplos extraídos de [UNIVERSAL ROBOTS](#).

RNB Cosméticos. España

Empresa dedicada a la investigación, desarrollo, producción y fabricación de productos cosméticos faciales, corporales, fotoprotectores y fragancias. La compañía cuenta con cerca de 600 personas en plantilla. Con el objetivo de mejorar las condiciones ergonómicas integra en su planta de envasado y acondicionado seis brazos robóticos [UR10](#) al final de la línea, en las tareas de paletizado. Los robots colaborativos colaboran con las personas que ocupan los puestos de trabajo, en el mismo espacio e trabajo, liberándolas de condiciones ergonómicas inadecuadas. Esta solución no solo ha consolidado la plantilla existente, sino que también ha supuesto nuevas incorporaciones derivadas del aumento de la producción. Además, está permitiendo elevar el nivel de competencias profesionales de las personas trabajadoras, que se están especializando en el manejo de los robots colaborativos de forma sencilla y que tienen ahora la responsabilidad de supervisar su funcionamiento y controlar la línea de producción.

⁴⁰ Jean-Christophe Blaise, Laurie Brun, Adriana Savescu, Adel Sghaier, David Tihay et Lien Wioland (2020). [10 questions sur les robots collaboratifs](#) (10 preguntas sobre robots colaborativos). INRS ([Institut Santé et sécurité au travail](#))

ATRIA. Suecia

Fabricante de productos vegetarianos y gourmet que da servicio a mercados y cadenas de distribución que necesitan servicio las 24 horas del día. Esta empresa integra los robots colaborativos [UR5](#) y [UR10](#) en las actividades de etiquetado, plegado de cartón y paletizado con el objetivo de minimizar el tiempo de inactividad para poder suministrar los productos frescos a un precio competitivo.

CASCINA. Italia

Cascina procesa millones de huevos al día. El robot colaborativo [UR5](#) sustituye a las personas en el agotador proceso de preparación de grandes paquetes para su distribución, trabajando junto con ellas en el mismo espacio de trabajo. Como resultados se ha mejorado la flexibilidad y la eficacia operativa.

MJOLKURSAMSALAN AKUREYRI. Islandia

El mayor proveedor de productos lácteos de Islandia, buscaba automatizar algunos de los trabajos monótonos en su línea de producción de queso de untar. El brazo robótico [UR5](#) levanta cuatro paquetes de queso sobre una cinta transportadora y los coloca en una bandeja de plástico. Un segundo robot recoge las bandejas llenas y las apila en un palé, liberando también de la adopción de posturas inadecuadas.

Procedimiento para implantar un Exoesqueleto pasivo

El procedimiento para la implantación de un exoesqueleto es bastante más complejo que el propuesto para el robot colaborativo. En el caso del exoesqueleto el hecho de afectar individualmente a una persona precisa de una mayor argumentación y justificación a nivel preventivo que cualquier otra tecnología robótica avanzada.

Para empezar, a la hora de identificar el puesto de trabajo o la tarea, el INSST en el artículo sobre exoesqueletos⁴¹ (2021) indica que se tiende a pensar en exoesqueletos para un puesto concreto. Sin embargo, sigue afirmando que 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, no identifique el beneficio y no acepte su uso. Por tanto, quizá se debería pensar en el uso del equipo más por tareas a realizar que por puestos de trabajo.

El proyecto R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0 publica la [Guía 4 Exoesqueletos y prevención de riesgos laborales](#)⁴² (2019). En esta guía, se explica cómo generalmente los exoesqueletos se utilizan para dar apoyo físico en tareas donde se adoptan posturas mantenidas y forzadas como, por

⁴¹ Zubizarreta Molinuevo J, Álvarez Bayona T, Planas Lara A, Tomás Royo A y Ducun Lecumberri M. (2021). [Exoesqueletos: Actualidad y Futuro en PRL](#). Revista Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), nº108: 50-60 octubre 2021.

⁴² AIDIMME, FEMEVAL FEVAMA, Unión de Mutuas, Unimat Prevención y Agrupación innovadora Valmetal, Generalitat Valenciana (2019). [Guía 4 Exoesqueletos y prevención de riesgos laborales](#).

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. Se menciona la existencia de una gran cantidad de modelos. 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.

El INSST (2021) detalla el **procedimiento o pasos a seguir** que lleva a emplear el uso del exoesqueleto como la solución a un determinado problema. Se basa como punto de partida, en el procedimiento propuesto por el INRS⁴³ (Institut Santé et sécurité au travail de Francia, 2018) que estructura en tres etapas la adquisición e implementación de un exoesqueleto pasivo.

En primer lugar, se debe 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 asegurar que no existe otro tipo de medida más adecuada para la situación que se desea mejorar.

Para optar al exoesqueleto como medida, se deben considerar al igual que con los robots colaborativos, 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](#) (LPRL). Por lo tanto, antes de la implantación del exoesqueleto, la dirección de la empresa con el apoyo del servicio de prevención de riesgos laborales y el Comité de Seguridad y Salud (y en su caso, la delegada o el delegado de prevención de riesgos laborales) se realizarán las siguientes preguntas (INSST, 2021):

- *¿Se puede eliminar el riesgo o la exposición?*
- *Si no ha sido posible, tras la evaluación ¿se ha observado la posibilidad de adoptar otro tipo de medida preventiva?*
- *¿Se puede controlar el riesgo en el origen con las medidas preventivas conocidas?*
- *¿Se pueden adaptar las tareas a las personas que las van a desempeñar?*
- *¿Se pueden adoptar medidas técnicas u organizativas conocidas que disminuyan los riesgos a niveles tolerables?*
- *¿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 de riesgo tolerable, no se plantearía el recurrir a los exoesqueletos como medida de protección. Solo en el caso de que no resulte suficiente con las medidas disponibles y las respuestas a estas preguntas sean negativas, sería necesario recurrir a otro tipo de estrategias e intervenciones, entre las que podría ser la introducción de exoesqueletos. En todo caso, si se introduce un exoesqueleto tendría la consideración de medida adicional y paliativa, ya que no eliminaría el riesgo.

⁴³ Atain Kouadio J-J, Kermgueven L y Turpin-Legendre E (2018). [Guide pour les préventeurs. Acquisition et intégration d'un exosquelette en Entreprise](#) (Adquisición e integración de un exoesqueleto en una empresa). INRS (Institut Santé et sécurité au travail).

En la implementación del exoesqueleto en el puesto de trabajo será preciso comprobar el comportamiento del exoesqueleto durante un tiempo de uso a largo plazo y en las condiciones habituales de trabajo.

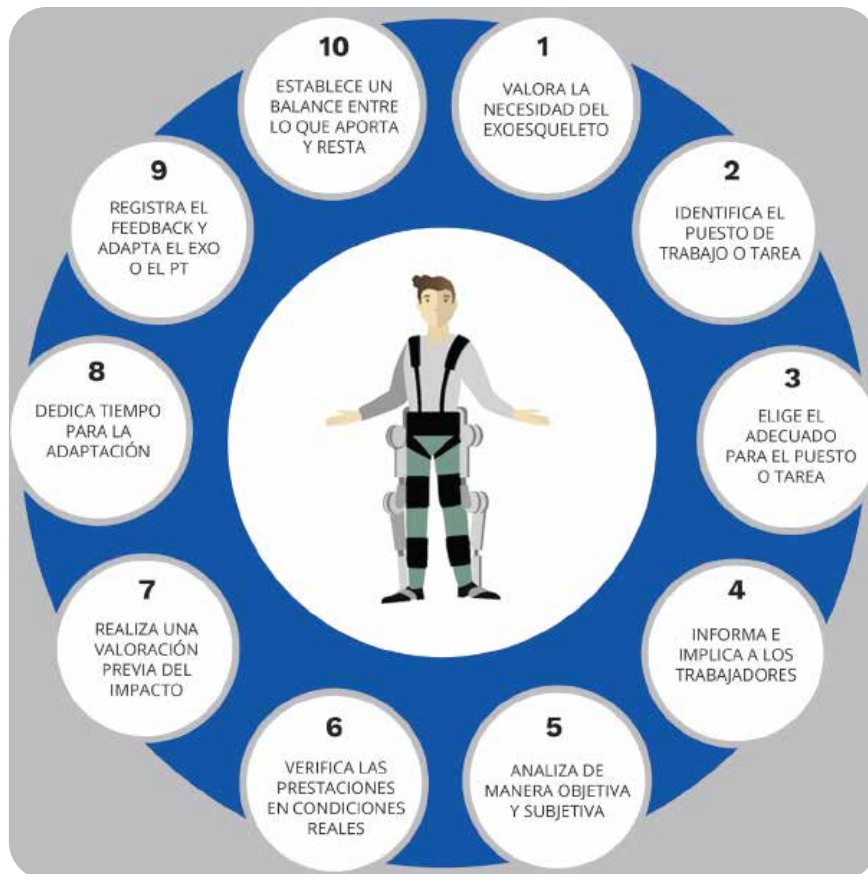
El INRS⁴⁴ (Institut Santé et sécurité au travail de Francia, 2018) especifica las características exigibles a un exoesqueleto para su implantación en el puesto y/o tarea concreta (incluidas en la *Tabla 1 Criterios que se deben pedir al exoesqueleto* del INSST, Revista Seguridad y Salud en el Trabajo (2021)). Todas ellas tienen que ver directa o indirectamente con la interacción con la persona usuaria del dispositivo. Son las siguientes:

- **Adaptabilidad y apropiación.** Es el grado en el que la persona usuaria se habitúa al exoesqueleto y le permite la realización de la tarea. Por ejemplo, tiene libertad y fluidez de movimientos, la duración de la tarea no es excesiva y se da una cierta aceptación social del dispositivo.
- **Utilidad.** Es el grado en el que cumple con las expectativas esperadas. Por ejemplo, el grado de reducción del esfuerzo físico y postural de la tarea, el tiempo del ciclo de trabajo en el que emplearlo y la calidad de la operación.
- **Usabilidad.** Implica analizar la facilidad de uso del dispositivo. Por ejemplo, en el accionamiento, desbloqueo, en la colocación, ajuste o retirada.
- **Impacto.** Proporciona el grado de afectación del exoesqueleto en la forma de trabajar y en el entorno de trabajo. Por ejemplo, cambios en el comportamiento de la persona usuaria o en los compañeros y las compañeras.
- **Seguridad y salud.** Se evalúan los riesgos laborales que produce el nuevo dispositivo. Por ejemplo, en interacción con la persona usuaria y en el espacio de trabajo.

Por tanto, si estas características no se cumplen no se debe implementar el dispositivo en el puesto de trabajo y se deberán buscar otras opciones preventivas y consensuadas entre las personas implicadas en la prevención de riesgos laborales en la empresa y principalmente, con la persona usuaria y portante del equipo, para el logro real de la mejora de sus condiciones ergonómicas.

⁴⁴ Atain Kouadio J-J, Kerngueven L y Turpin-Legendre E (2018). *Guide pour les préventeurs. Acquisition et intégration d'un exosquelette en Entreprise* (Adquisición e integración de un exoesqueleto en una empresa). INRS (Institut Santé et sécurité au travail)

A modo de resumen, y en la línea del procedimiento definido en el artículo del INSST (2021), la Mutua Universal (2021) considera 10 pasos a seguir en la implementación de un exoesqueleto en el puesto de trabajo⁴⁵:



Fuente: INSST, Revista Seguridad y Salud en el Trabajo (2021)

En dicho artículo el INSST⁴⁶ insiste en la importancia de lograr la aceptabilidad del exoesqueleto. Esta aceptabilidad pasa por la combinación de dos enfoques en la valoración de su eficacia del dispositivo que se corresponden con el paso 7 del diagrama propuesto por Mutua Universal, Realizar la valoración previa del impacto, objetiva y subjetiva:

- La valoración objetiva mediante técnicas instrumentales de medición tales como la 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. Adicionalmente, y una vez se haya realizado el proceso de familiarización, se puede realizar nuevamente el registro con técnicas objetivas de medición, con y sin exoesqueleto, durante el desarrollo de las tareas, para valorar comparativamente su eficacia.
- La valoración subjetiva mediante cuestionarios de percepción de la persona usuaria, que participará de forma voluntaria. Valorarán 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.

⁴⁵ Artículo Mutua Universal (2021): [Exoesqueletos: la solución a los problemas musculoesqueléticos... o no?](#)

⁴⁶ Zubizarreta Molinuevo J, Ivarez Bayona T, Planas Lara A, Tomás Royo A y Ducun Lecumberri M. (2021). [Exoesqueletos: Actualidad y Futuro en PRL](#). Revista Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), nº 108: 50-60 octubre 2021.

Ambas valoraciones y tipos de análisis resultan complementarios. Además, mediante la simulación y los ensayos previos del exoesqueleto seleccionado en el puesto de trabajo se debe descartar que genere otras sobrecargas en otras zonas corporales a la persona usuaria. Analizar el exoesqueleto y verificar sus prestaciones en condiciones reales de trabajo debe permitir corregir deficiencias y reducir el impacto con el entorno.

Una vez desarrollado este proceso e implantado el exoesqueleto, se deberá hacer un seguimiento a las personas usuarias para evitar posibles efectos sobre la salud en el medio o largo plazo, ya que se ha demostrado que, aunque la primera impresión sea buena, cuando la persona usuaria lo lleva durante mucho tiempo algunas de ellas lo rechazan⁴⁷. 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 aceptación⁴⁸.

Respecto al último paso propuesto, el número 10 Establece un balance entre lo que aporta y lo que resta el exoesqueleto, lo que aporta debe ser lo suficientemente importante como para que compense los efectos negativos que se identifiquen en su uso. Ese balance final entre lo que aporta (beneficia) y lo que resta (perjudica) debe ser claramente positivo. 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 la persona trabajadora 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.

EJEMPLO

[ITURRI](#) es una empresa española que se dedica a la comercialización de productos de protección industrial individual y colectiva, emergencias etc., también exoesqueletos. En su web se facilita información, para cada tipo de exoesqueleto, sobre el objetivo que pretenden conseguir y las posibles experiencias de uso (se muestran videos explicativos cuyo idioma más utilizado es el inglés).

• Protección lumbar

[Exoesqueleto LAEVO](#). Indicado para puestos de trabajo que requieren una inclinación hacia delante mantenida en el tiempo o repetitiva

Experiencias:

[Grupo EULEN. Exoesqueletos en las instalaciones de SEUR, en Paterna, Valencia.](#)

Objetivo: proporcionar condiciones de trabajo saludable y la mejora de la productividad.

[IKEA. Centros de San Sebastián de los Reyes, Vallecas, ambos en Madrid y en el centro de Badalona \(Barcelona\)](#)

Objetivo: prevenir los riesgos laborales derivados de la manipulación de cargas y/o posturas forzadas, como pueden ser la fatiga o las lesiones musculoesqueléticas, en las unidades de logística.

⁴⁷ Hensel, R. et col (2018). Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. s.l.: ASU Zeitschrift für medizinische Prävention. Vol. 53, 654-661.

⁴⁸ Masood, J. et Col. Subjective Perception of Shoulder Support Exoskeleton at Groupe PSA (2020). Wearable Robotics: Challenges and Trends. Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Robotics, WeRob2020, and of WearRAcon Europe 2020. Springer.

Casos de uso:

1. [Montaje](#)

Actividades de montaje donde la persona necesita inclinarse hacia adelante repetidamente, y a veces mantener estas posturas para hacer operaciones como fijar o atornillar una parte a una estructura.

2. [Mezclador recarga](#)

Llenado de materias primas en diferentes formatos y estados en mezcladores o reactores para la producción de cosmético o productos farmacéuticos. La materia prima en sacos, se deposita en los mezcladores de forma manual y repetida. .

3. [Embalaje](#)

Embalaje de piezas de gran tamaño al final de las líneas de producción que requiere la adopción de posturas inadecuadas.

4. [Mantenimiento ferroviario](#)

Tareas de mantenimiento en vías férreas, que implican trabajar a nivel del suelo con la espalda encorvada, a menudo usando herramientas pesadas.

5. [Depósito](#)

Trabajos en almacén que conllevan levantamiento y manipulación de objetos en un nivel bajo de altura y sin apenas caminar o no caminar en absoluto.

6. [Peso](#)

Preparación y pesaje de materias primas para su recarga en el mezclador. En esta estación de trabajo, se pesan las cantidades especificadas y se colocan de forma manual en un palet.

• **Protección miembros superiores**

[Exoesqueleto SKELEX](#)

Reduce la carga muscular al realizar las tareas con brazos a la altura de los hombros

• **Protección para espalda y piernas**

Explicado en este documento más adelante.

• **Protección manos**

[Exoesqueleto IRONHAND](#)

Ironhand es el primer exoesqueleto blando activo del mundo para la mano. El sistema consta de un guante que cubre los cinco dedos y un paquete de energía (powerpack) que se lleva en una mochila o en la cadera. Se activa cuando la persona comienza a mover la mano para realizar una tarea. Para garantizar una solución ergonómica tanto para hombres como para mujeres, así como diferentes tipos de cuerpo y posiciones de trabajo, el powerpack se puede llevar en la espalda o en la cadera. Además de los diferentes tamaños de guantes, también están disponibles diferentes tamaños de correas para los brazos y soluciones de transporte. Se ha tenido en cuenta que sea fácil de poner y quitar.

Refuerza la capacidad de presionar y sostener herramientas con la mano de manera prolongada.

Casos de uso. En tres sectores diferentes y para cada uno de ellos diversidad de actividades y tareas:

1. Fabricación

Aliviar el estrés de golpear con un mazo placas de metal. Ironhand proporciona resistencia adicional y asegura un agarre firme y confiable.

2. Construcción

Retirar trozos de hormigón con un martillo neumático. Ironhand ayuda a mantener un agarre firme con menos esfuerzo muscular que es especialmente importante en aplicaciones donde los trabajadores están expuestos a vibraciones.

3. Automotriz

Usar una llave dinamométrica para sujetar piezas, Ironhand alivia los músculos y reduce la fatiga durante la repetición y agarre trabajo intensivo.

Web fabricante: <https://www.bioservo.com/professional>

• **Protección del pulgar**

Exoesqueleto PREXER

Previene la artrosis del pulgar y protege la punta del pulgar en tareas repetitivas de empuje.

Interacción con las personas usuarias

La norma [ISO 8373:2021 Robotics-Vocabulary](#) define la interacción humano-robot como *los intercambios de información y acción entre humanos y robots para realizar una tarea por medio de una interfaz de usuario. Por ejemplo, intercambio a través de medios vocales, visuales y táctiles.*

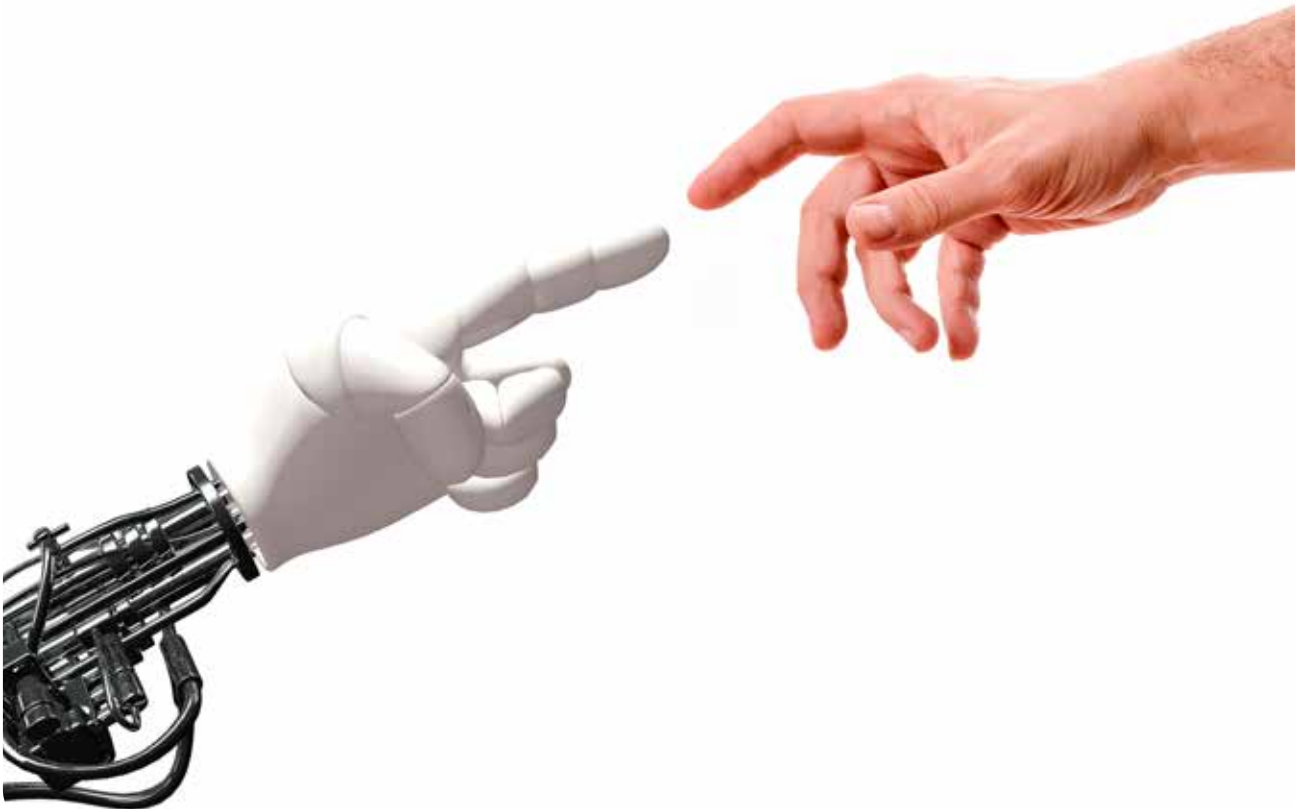
El Parlamento Europeo en las *Normas de derecho civil sobre robótica*⁴⁹ (PE, 2017) cuando se refiere a la *Licencia para los diseñadores* de robots considera la obligación ética de “*analizar la previsibilidad de un sistema humano-robot teniendo en cuenta la incertidumbre en la interpretación y en la acción, así como los posibles fallos de los robots o del hombre*”. Las personas diseñadoras de la tecnología robótica deberán elaborar protocolos de concepción y evaluación, y colaborarán con las personas usuarias de la tecnología robótica y con las partes interesadas potenciales con la finalidad de evaluar las ventajas y los riesgos de la robótica, incluido a nivel cognitivo, psicológico y medioambiental. En definitiva, “*los diseñadores no podrán accionar un robot sin garantizar la seguridad, la eficacia y la reversibilidad del funcionamiento del sistema*”.

⁴⁹ Parlamento Europeo (2017). *Normas de Derecho civil sobre robótica*. Resolución de 16 de febrero de 2017, con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho civil sobre robótica (2015/2103(INL)). Texto aprobado, Estrasburgo.

El Parlamento Europeo también incorpora la *Licencia para los usuarios* que trasladado al ámbito laboral y en concreto, al uso de un robot colaborativo y de un exoesqueleto pasivo, se traducen principalmente en:

- Estar autorizados a hacer uso del robot y exoesqueleto sin miedo de sufrir un perjuicio físico o psicológico.
- Tener derecho a esperar que un robot efectúe las tareas para las que haya sido expresamente concebido.
- Ser consciente de que los robots y exoesqueletos pueden tener límites de percepción, límites cognitivos y de accionamiento.
- Tener en cuenta el derecho a la vida privada de las personas, incluida la desactivación de videomonitores durante el tiempo de descanso, tales como ir al aseo con el exoesqueleto incorporado.

A partir de esta introducción común a robots colaborativos y exoesqueletos se especifican a continuación las características particulares de la interacción entre uno y otro, con la persona usuaria.



Interacción con el Robot colaborativo

El INRS⁵⁰ ([Institut Santé et sécurité au travail](#) de Francia, 2020) detalla como la persona trabajadora (humano) y el robot colaborativo trabajan conjuntamente, con diferentes grados de interacción. A continuación se muestran los tres tipos de interacción:

- **Coexistencia.** El humano y el robot trabajan al mismo tiempo, de manera simultánea en tareas diferentes y en espacios de trabajo diferentes, pero próximos en el mismo entorno físico.
- **Colaboración indirecta.** El humano y el robot se turnan en momentos diferentes de la jornada, para trabajar en una tarea común y en el mismo espacio de trabajo.
- **Colaboración directa.** El humano y el robot trabajan al mismo tiempo, de manera simultánea en una tarea común y en el mismo espacio de trabajo.

En los dos primeros tipos, la interacción es débil y las acciones del humano y del robot pueden, en algunos casos, influirse mutuamente. En la colaboración directa, la interacción es muy fuerte, las acciones del humano y del robot se influyen mutuamente en tiempo real.

Sobre este tema, el artículo [Optimización postural para una interacción ergonómica humano-robot](#)⁵¹ (Canadá, 2017) aborda el problema de cómo mejorar la postura de la persona trabajadora durante su interacción humano-robot colaborativo. El experimento se realiza en una tarea con 39 personas voluntarias de las cuales 18 son mujeres y 21 hombres, 2 personas son zurdas y con edades entre 46 y 24 años, con y sin experiencia en la interacción con robots colaborativos. En los resultados del experimento se identificaron algunas limitaciones entre las que destaca el encontrar la ubicación óptima del robot para que alcance la posición deseada, sin dificultar el trabajo de la persona trabajadora que comparte el mismo espacio de trabajo.

EJEMPLO

Vídeo en francés del INRS ([Institut Santé et sécurité au travail, 2020](#)): [Robots collaboratifs, quels enjeux pour la prévention?](#) (Robots colaborativos, ¿cuáles son los riesgos para la prevención?)

En octubre de 2021 se publica un estudio de revisión⁵² (Cardoso A, 2021) de 20 artículos centrados en el uso de la ergonomía como un requisito para el diseño de los lugares de trabajo colaborativos más seguros. Algunas de las principales conclusiones a las que llega el estudio de revisión sobre la interacción humano-robot son las siguientes:

⁵⁰ Jean-Christophe Blaise, Laurie Brun, Adriana Savescu, Adel Sghaier, David Tihay et Lien Wioland (2020). [10 questions sur les robots collaboratifs](#) (10 preguntas sobre **robots colaborativos**). INRS ([Institut Santé et sécurité au travail](#))

⁵¹ Baptiste Busch, Guilherme Maeda, Yoan Mollard, Marie Demangeat, Manuel Lopes. (2017). [Postural Optimization for an Ergonomic Human-Robot Interaction](#) (Optimización postural para una interacción ergonómica humano-robot). IROS 2017-IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vancouver, Canada. pp.1-8.

⁵² Cardoso, A.; Colim, A.; Bicho, E.; Braga, A.C.; Menozzi, M.; Arezes, P (2021). [Ergonomics and Human Factors as a Requirement to Implement Safer Collaborative Robotic Workstations: A Literature Review](#) (Ergonomía y factores humanos como requisito para implementar puestos de trabajo más seguros con robots colaborativos: una revisión de la literatura). Safety 2021, 7, 71. <https://doi.org/10.3390/safety7040071>

- Independientemente de la tarea específica que realicen, los robots están diseñados para apoyar a los humanos. En consecuencia, al introducir los robots colaborativos en los puestos de trabajo, es necesario tener en cuenta los requisitos ergonómicos en su implementación. Así, no es posible hablar de robots sin considerarlos en relación con los humanos. Adoptar el punto de vista del ser humano permite prever las necesidades, el comportamiento y las sensaciones de la persona usuaria durante la interacción con los robots y mejorar el bienestar físico y la seguridad de las personas trabajadoras.
- En general, todos los estudios revisados demostraron la importancia del papel de la ergonomía y de los Factores Humanos (E&HF) como requisito en el diseño e implementación de los sistemas colaborativos humano-robot (HRC), ya que los resultados demuestran la mejora de las condiciones de trabajo en términos de esfuerzos físicos y cognitivos. Sin embargo, la mayoría de los estudios se centraron en situaciones o tareas específicas que no permiten la generalización de los resultados para todas las diferentes situaciones encontradas en el contexto industrial.
- Todos los estudios revisados se han centrado principalmente en la ergonomía física, es decir, en la anatomía humana y en las características antropométricas, fisiológicas y biomecánicas relacionadas con la actividad física. Las investigaciones futuras deberían centrarse también en la ergonomía cognitiva (aceptabilidad de la interacción humano-robot y confianza), y especialmente en las aplicaciones en el propio puesto de trabajo y no en laboratorios de forma experimental. La implantación de nuevas tecnologías en el lugar de trabajo puede aumentar la carga de trabajo mental.
- A los riesgos mecánicos del propio robot colaborativo pueden añadirse tensiones físicas y mentales, ya que la persona trabajadora puede tener que adoptar posturas inadecuadas para hacer frente a los movimientos del robot y, además, el trabajador o la trabajadora pasa de un papel de cooperación a una posición de supervisión de la tarea. Esto puede provocar importantes costes cognitivos debido a la asignación y reasignación de recursos atencionales. Por ello, para conseguir interacciones colaborativas más seguras entre humano-robot, es necesario abordar los posibles daños que pueden derivarse de la ejecución inadecuada de las tareas o de la carga mental relacionada con la introducción de estas nuevas tecnologías en los puestos de trabajo, debido al uso de tareas más complejas o a una mayor carga cognitiva (pensamiento) y en la toma de decisiones para la persona usuaria.

En definitiva, el estudio concluye en que la adaptación del comportamiento del robot colaborativo en función del estado de salud y dimensiones antropométricas de la persona con la que interactúa es una baza primordial para desarrollar puestos de trabajo más seguros y mejorar el bienestar de las personas trabajadoras.

Interacción con los exoesqueletos

La EU-OSHA⁵³ (2019) afirma el desconocimiento de los efectos a largo plazo del uso de exoesqueletos para el sistema musculoesquelético y la necesidad imperiosa de realizar estudios exhaustivos que tengan en cuenta las características personales, fisiológicas y médicas de las personas usuarias y los aspectos biomecánicos de los exoesqueletos.

⁵³ Peters, M. y Wischniewski, S. (2019). *Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y salud en el trabajo*. Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

Las publicaciones actuales aportan ventajas e inconvenientes en la implementación de los exoesqueletos pasivos en el puesto de trabajo. Se identifican problemas importantes en salud laboral derivados de esta interacción tan estrecha y directa entre el humano y el exoesqueleto pasivo.

Varios estudios publicados en *Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs état des connaissances*⁵⁴ sobre el uso de exoesqueletos pasivos realizado por el INRS (Institut Santé et sécurité au travail de Francia, 2018) avalan una serie de ventajas de estos dispositivos. Cuantifican la reducción de los esfuerzos que realizan las personas trabajadoras y proporcionan ciertas conclusiones (extraídas de la guía sobre exoesqueletos del proyecto R-EVOLUCIÓN INDUSTRIAL)⁵⁵:

- Los exoesqueletos 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 ensamblaje que mantiene el tronco flexionado hacia delante, no refiere dolor o molestia.

Según este documento se espera que el uso de los exoesqueletos se convierta en algo más habitual en el futuro, ya que los prototipos de exoesqueletos han resultado ser beneficiosos en ámbitos como la asistencia médica. Sin embargo, este avance tecnológico no elimina el riesgo e incluso puede generar otros muchos riesgos emergentes, por lo que debe ser siempre el último recurso.

Algunos ejemplos de estudios de campo con exoesqueletos los encontramos el sector de automoción:

- La experiencia desarrollada en Audi⁵⁶ (2018) se centra en analizar la incomodidad, la usabilidad, la aceptación de la persona usuaria, y en particular en el alivio percibido de la espalda baja por medio de un exoesqueleto (Laevo) que actúa a nivel de la espalda. En la evaluación subjetiva participaron 51 personas voluntarias en la planta de Ingolstadt (Alemania), de las cuales se mantuvieron en el estudio 30. De su lectura se sobreentiende que todas las personas participantes son hombres (no existe ninguna mención especial que diferencie por sexo). La edad de los sujetos oscilaba entre los 19 y los 40 años, el peso corporal medio 76 (\pm 9) kg y la altura media 175,3 (\pm 6,5) cm, con una experiencia laboral de al menos 3 meses. Los participantes fueron informados con anticipación sobre el contenido y el proceso del estudio de campo y acordaron esto en un consentimiento personal. La comunicación transparente tanto sobre los objetivos como el procedimiento del estudio de campo, pero especialmente sobre los beneficios del exoesqueleto, ha demostrado ser un factor de éxito esencial para la prueba piloto. Por un lado, el estudio de campo fue verificado y aprobado por el Comité de Empresa de Audi. También participó el Comité de Seguridad y Salud que acompañó el proceso. Según la experiencia, el exoesqueleto probado permite su adaptación a las condiciones antropométricas de la persona usuaria así como a la situación específica de trabajo, ya que el ángulo de apoyo y el grado de apoyo son variables y el mecanismo de resorte se puede activar y desactivar.

⁵⁴ INRS (2018) *Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs. État des connaissances* (Exoesqueletos en el trabajo: impacto en la salud y seguridad de los operadores. Estado de conocimiento).

⁵⁵ AIDIMME, FEMEVAL FEVAMA, Unión de Mutuas, Unimat Prevención y Agrupación innovadora Valmetal, Generalitat Valenciana (2019). *Guía 4 Exoesqueletos y prevención de riesgos laborales*.

⁵⁶ Hensel, R. et col (2018). *Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. s.l.: ASU Zeitschrift für medizinische Prävention*. Vol. 53, 654-661.



Fuente: Lugares de trabajo del estudio de campo Hensel, R. et col (2018).

Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. s.l.: ASU Zeitschrift für medizinische Prävention. Vol. 53, 654-661.

- En la experiencia en Groupe PSA⁵⁷ (2020) participan en el estudio 47 trabajadores hombres (nada dice de las mujeres). En sus conclusiones destacan la importancia del ajuste del exoesqueleto para una buena usabilidad y confortabilidad en el uso de un exoesqueleto para aliviar las exigencias físicas y posturales al trabajar con los brazos por encima de la cabeza y el cuello inclinado hacia atrás en la línea de montaje de vehículos a motor en Vigo (España).



Fuente: Vídeo sobre la Realización de trabajos con exoesqueletos-Groupe PSA y CTAG (Centro tecnológico de automoción de Galicia), (2019).

Un estudio experimental del Hospital Universitario de Tubinga (Alemania) sobre *Exoesqueleto de silla sin silla. Análisis trabajo-fisiológico-biomecánico de las extremidades inferiores* evalúa el exoesqueleto la 'Silla sin silla' también denominado, *posicionador sedente (Chairless chair)* para aquellos puestos de trabajo que exigen permanecer de pie en posición estática. La prueba experimental se desarrolla en un laboratorio (distinto a un entorno laboral industrial). Se realizan diferentes tareas de montaje mientras se usa el exoesqueleto y se compara su desarrollo sin el exoesqueleto. El dispositivo se diseñó en un solo tamaño por lo que el equipo investigador solicitó que las personas candidatas tuvieran diferente altura y dimensiones corporales para poder investigar si las dimensiones antropométricas influyen en la eficacia del dispositivo. Sin embargo, como requisito de inclusión del estudio se pidió ser hombre de entre 18 y 40 años y estar sano. Los criterios de exclusión llaman enormemente la atención: ser mujer y tener más de 40 años. La conclusión al estudio es evidente, destacando la importancia de poder adaptar el dispositivo a las dimensiones antropométricas de la persona usuaria.

⁵⁷ Masood J., Schneider U., Maufroy C., Pons JL (2020) *Subjective Perception of Shoulder Support Exoskeleton at Groupe PSA* (Percepción subjetiva del exoesqueleto de soporte del hombro en Groupe PSA). *Wearable Robotics: Challenges and Trends. Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Robotics, WeRob2020, and of WearRAcon Europe 2020*. Springer.

EJEMPLO

La silla sin silla es un exoesqueleto que permite el descanso durante el trabajo, reduciendo la carga física y protegiendo las dolencias de espalda. Es ligero y estable, se puede llevar de forma flexible en el cuerpo, aliviando el esfuerzo que se pueda generar en la espalda, las rodillas y el cuello. Se puede adaptar individualmente al tamaño de zapato y cuerpo correspondiente. En el siguiente enlace: [Exoesqueleto NOONEE](#) se accede a la empresa que lo fabrica y a un video demostrativo en el que se muestran las posturas correctas que se adoptan en pies, piernas y altura del trabajo, también se indica que no es adecuado para trabajos en los que se tienen que elevar los brazos por encima de la cabeza y cuando son necesarios largos desplazamientos o el uso escaleras, etc.

GHEZZI S.p.a. Empresa italiana del sector textil, dedicada a la fabricación de sedas y fibras sintéticas. Los problemas de espalda y dolor al final de la jornada tenían un origen claro relacionado con el peso de las bobinas, 12 kg (el peso de las bobinas ha ido creciendo debido a las necesidades de la industria de hilatura) y las distancias de manipulación, como tener que levantarlas desde el suelo hasta casi dos metros de altura. Las características de los espacios de trabajo no permitían la integración de un robot se decide optar por el exoesqueleto [COMAU MATE](#). Las personas afectadas manifiestan que el exoesqueleto les permite trabajar más rápido y sin dolor.

NICMA. Empresa italiana dedicada a la limpieza profesional. Introducen el exoesqueleto [COMAU MATE](#) para las tareas que requieren extensión y elevación de miembros superiores como por ejemplo la limpieza de grandes ventanales, mantenimiento de fachadas y sus elementos o tareas de pintura, todas estas tareas las realizan de forma manual con o sin ayuda de elementos extensores. La solución ha mejorado la seguridad en el trabajo y ha proporcionado un gran soporte ergonómico, reduciendo el esfuerzo necesario para el desarrollo de las tareas.

El IFA⁵⁸ (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, 2019) en su [Análisis de la efectividad de los exoesqueletos](#) muestra que los exoesqueletos sólo proporcionan un beneficio significativo cuando los ángulos de flexión están muy alejados de la posición neutra. El efecto de los exoesqueletos, tanto pasivos como activos, es sólo de apoyo, es decir, compensan principalmente y de forma parcial, el peso en movimiento del segmento corporal soportado. Las cargas adicionales deben seguir siendo soportadas por el sistema musculoesquelético.

Michiel P. de Looze et cols⁵⁹ también realizaron en 2015 una revisión de 40 artículos sobre el uso de exoesqueletos industriales (activos y pasivos) y evaluaron el efecto potencial de estos dispositivos en la reducción de la carga física en el cuerpo. La búsqueda dio como resultado 40 artículos que describieron 26 exoesqueletos industriales diferentes, de los cuales 19 eran exoesqueletos activos y 7 eran exoesqueletos pasivos. Entre sus resultados más significativos indican que:

- Todos los exoesqueletos pasivos estaban dirigidos a apoyar la zona lumbar de la espalda. Se han reportado reducciones del 10 y el 40% en la actividad muscular de la espalda durante el levantamiento dinámico y la retención estática.

⁵⁸ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (2019). [Analysis of the effectiveness of exoskeletons](#) (Análisis de la efectividad de los exoesqueletos). Focus on IFA's work. IFA, alemán.

⁵⁹ Michiel P. de Looze, Tim Bosch, Frank Krause, Konrad S. Stadler y Leonard W. O'Sullivan (2016). [Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load](#) (Exoesqueletos para aplicaciones industriales y sus efectos potenciales sobre la carga de trabajo físico). Ergonomics, 59: 5, 671-

- La espalda, los miembros superiores y los miembros inferiores del cuerpo podrían beneficiarse con el uso de los exoesqueletos activos. Se han reportado reducciones de la actividad muscular de hasta el 80%.

Los autores concluyeron en que existe un interés significativo en los exoesqueletos industriales, en todo el mundo, pero la falta de regulación legal y de normas de seguridad específicas y algunos problemas técnicos y específicos de diseño, dificultan el uso de los exoesqueletos en la industria. Los problemas técnicos específicos a los que se refieren son fundamentalmente, la incomodidad de llevarlos puestos (para el exoesqueleto activo y el pasivo), el peso del dispositivo, la alineación con la anatomía humana y la cinemática (las fuerzas ejercidas en el movimiento de los objetos), y la necesaria detección de la intención humana para permitir un movimiento suave con los exoesqueletos activos. Pese a estas conclusiones, los autores destacan el potencial de estos dispositivos para reducir considerablemente los factores de riesgo ergonómicos asociados con las lesiones musculoesqueléticas de origen laboral. Kermavnar T y cols⁶⁰, realizan en 2020 una revisión sistemática más actualizada de artículos publicados en los últimos 5 años sobre exoesqueletos industriales de la zona de la espalda lumbar. Las preguntas de investigación tuvieron como objetivo abordar los hallazgos recientes con respecto a las evaluaciones objetivas (por ejemplo, carga corporal, rendimiento de la persona usuaria) y subjetivas (por ejemplo, satisfacción de la persona usuaria), sobre los posibles efectos secundarios y los aspectos metodológicos de las pruebas de usabilidad. Se identificaron 13 estudios de exoesqueletos activos y 20 de exoesqueletos pasivos. Los exoesqueletos se probaron durante las tareas de levantamiento y flexión, predominantemente en entornos de laboratorio y únicamente con hombres jóvenes sanos. Este dato sobre las personas participantes llama enormemente la atención, ya que en los estudios revisados, en ningún caso se contempla a las mujeres en los análisis y/o pruebas piloto previas a la implantación en el puesto de trabajo, empleando únicamente a hombres jóvenes y sanos en el diseño y adaptación del dispositivo. No cabe duda que la muestra empleada en el análisis no es representativa del colectivo de personas usuarias, hombres y mujeres.

En general, en este estudio de revisión se informaron disminuciones en la actividad muscular de la espalda de los hombres participantes (L5/S1 y fuerzas de compresión espinal). La resistencia del usuario durante el levantamiento y la flexión estática mejoró, pero el rendimiento disminuyó durante las tareas que requerían una mayor agilidad. La satisfacción general del usuario fue moderada. Se observaron algunos efectos secundarios, incluido el aumento de la actividad muscular abdominal de las extremidades inferiores y los cambios en los ángulos articulares. Los resultados indican la eficiencia de los exoesqueletos en la reducción de la carga física en la zona de la espalda lumbar y la necesidad de realizar más estudios en situaciones reales de trabajo (fuera del laboratorio) y con trabajadores industriales.

OSALAN⁶¹ (Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laboral, 2019) en su XI Taller de formación expuso junto al Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) los [parámetros para que los puestos de trabajo se adapten a toda la población trabajadora](#), destacando la importancia de diseñar los dispositivos para hombres y para mujeres. Las conclusiones más llamativas referidas al diseño de exoesqueletos según sexo fueron:

⁶⁰ Tjaša Kermavnar, Aijse W. de Vries, Michiel P. de Looze & Leonard W. O'Sullivan (2021). *Effects of industrial backsupport exoskeletons on body loading and user experience: an updated systematic review* (Efectos de los exoesqueletos de soporte trasero industrial en la carga corporal y la experiencia del usuario: una revisión sistemática actualizada). *Ergonomics*, 64:6, 685-711, DOI: 10.1080/00140139.2020.1870162

⁶¹ XI Taller de Formación (2019): *Enfoque de Género en PRL y Ergonomía* (Instrumentos para la integración del género en la PRL y Acercamiento a la ergonomía desde la perspectiva de género).

- El diseño de apoyos adaptados a las diferencias anatómicas entre hombres y mujeres, principalmente a nivel del tórax y de la pelvis.
- El tallaje, ajustes y regulaciones del dispositivo deben ser acordes con la antropometría de la población femenina.
- Debe facilitar la colocación de exoesqueleto de forma específica para la anatomía de la mujer. En concreto destacan limitaciones en el uso de los exoesqueletos en mujeres dado que un exoesqueleto de espalda y miembros superiores se desajusta al levantar los brazos (por el pecho de la mujer) y la cinta que se sujeta a la cadera se queda muy alta (por la cintura de la mujer). Además, es molesto en la zona del pecho por la cincha superior del dispositivo. En general, su uso resulta demasiado rígido en la espalda y el apoyo para el brazo se clava y provoca molestias y dolor a la trabajadora.

El Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) en la evaluación del impacto de un exoesqueleto de miembros superiores realizada en Ford Valencia⁶² (Sofía Iranzo y cols, 2019), realiza una encuesta de valoración entre las personas participantes en la prueba piloto (12 en total, sin información sobre el sexo pero en tratamiento masculino por lo que se interpreta que son hombres en su totalidad) y concluye en que la sensación de confort aumenta con el uso de este dispositivo y la sensación de disminución de fatiga muscular es percibida de la misma manera por las personas usuarias. Sin embargo, afirman que un rediseño del exoesqueleto con una estructura más flexible y adaptada a la anatomía individual de cada persona, contribuiría a una mejor aceptación por parte de las personas usuarias.

También el proyecto R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0⁶³ (2019) coincide en que dado que los exoesqueletos 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 cada persona usuaria, y mencionan el necesario ajuste del dispositivo según la variabilidad individual, su edad y sexo.

Por último, se suma el INRS⁶⁴ (2018) a la necesaria adaptación del exoesqueleto a la persona, cuando afirma que: *los exoesqueletos no están sistemáticamente adaptados a la morfología de cada persona (sexo, altura, peso) o a determinados problemas de salud de carácter musculoesquelético, problemas cardiovasculares, respiratorios o cutáneos, por ejemplo. Dependiendo de su tamaño, forma, modo de funcionamiento, etc., algunas personas no pueden ser autorizadas a utilizar el equipo ya que no se puede asegurar un uso cómodo o sin riesgo. Es necesario evaluar la aptitud para utilizar el exoesqueleto para que se adapte a las características de la persona usuaria. El servicio médico del servicio de prevención de riesgos laborales debe participar entonces en esta evaluación individual de aptitud.*

⁶² Sofía Iranzo Egea, Úrsula Martínez Iranzo, Daniel Iordanov López, Alicia Piedrabuena Cuesta, Juan Manuel Belda Lois, Mercedes Sanchis Almenara, Raquel Ruiz Folgado, Israel Benavides Sosa (2019). *Evaluación del impacto del uso de un exoesqueleto de miembro superior en condiciones reales. El caso de Ford*. Revista de Biomecánica Nº. 66, págs. 42-46, IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia).

⁶³ AIDIMME, FEMEVAL FEVAMA, Unión de Mutuas, Unimat Prevención y Agrupación innovadora Valmetal, Generalitat Valenciana (2019). *Guía 4 Exoesqueletos y prevención de riesgos laborales*.

⁶⁴ INRS (2018). *10 idées reçues sur les exosquelettes* (10 conceptos erróneos sobre los exoesqueletos).

EJEMPLO

La revista por experiencia (PEX, 2016) publicó el artículo de opinión [Cuando la tecnología produce monstruos](#), en el que se pone en evidencia una importante amenaza del exoesqueleto a nivel preventivo y social.

“Con estos trajes de músculos, además, se pueden aumentar los ritmos de producción o alargar e intensificar las jornadas. Y por si faltara algo, se nos venden también como innovación en prevención de riesgos laborales, ya que podrían incluso evitar, se nos dice, algunas lesiones musculoesqueléticas, fruto de unos esfuerzos, posturas o movimientos repetitivos, que son consecuencia, precisamente, de formas de trabajo poco saludables. Se rompe así la máxima ergonómica de adaptar el puesto de trabajo a la persona por su contrario, adaptar la persona al trabajo. Al final, todo parece indicar, si no lo remediamos, que la innovación tecnológica más que caminar hacia un mundo sin trabajo, con derecho al ocio y al descanso, nos precipita a un mundo donde la máquina no nos sustituye del todo sino, más bien al contrario, nos integra en sus mecanismos, convirtiéndonos en un engranaje más de una fábrica de generación de plusvalía y desigualdad”.

Riesgos emergentes derivados de la interacción

La prevención de los riesgos emergentes derivados de la interacción de las personas trabajadoras con la tecnología robótica debe considerarse desde el diseño y para su uso e interacción con la persona. Parece evidente pensar que cuanto más directa y colaborativa sea la interacción humano-robot, mayor será la exposición a los nuevos riesgos laborales emergentes.

Cabe recordar que en la implementación de cualquier equipo o dispositivo robótico como ya se ha visto en los procedimientos de implantación de los robots colaborativos y de los exoesqueletos pasivos, será preciso incorporar a todas las personas y agentes implicados en la prevención de riesgos laborales en la empresa desde la fase de concepción y diseño. Si se hace así, será más probable que los nuevos riesgos emergentes sean solucionados en origen y exista una mayor probabilidad de éxito preventivo en la empresa.

Riesgos asociados al Robot colaborativo

El INRS⁶⁵ ([Institut Santé et sécurité au travail](#), Francia) responde a la cuestión ¿Son los robots colaborativos seguros o no? La respuesta es que no son seguros por sí mismos y deben ir acompañados de medidas preventivas.

El uso de robots de cualquier tipo genera un gran número de riesgos relacionados con el propio robot, pero también con el proceso, la herramienta utilizada y la pieza manipulada. Estos riesgos incluyen los golpes y el aplastamiento, así como los riesgos eléctricos, térmicos, y los riesgos relacionados con la exposición a las vibraciones y al polvo. Mientras que en la robótica industrial tradicional la mayoría de estos riesgos se controlan mediante barreras de protección perimetrales, en el caso de los robots colaborativos no es así, ya que están diseñados para trabajar muy cerca de las personas con las que interactúan.

⁶⁵ Jean-Christophe Blaise, Laurie Brun, Adriana Savescu, Adel Sghaier, David Tihay et Lien Wioland (2020). [10 questions sur les robots collaboratifs](#) (10 preguntas sobre robots colaborativos). INRS ([Institut Santé et sécurité au travail](#))

Para reducir el riesgo de golpes y aplastamientos, algunos robots colaborativos disponen de una función de seguridad que pretende limitar su fuerza y su potencia del en caso de contacto con una persona. Sin embargo, esta función no reduce otros riesgos. El uso de un robot colaborativo no prescinde, por tanto, de la necesidad de utilizar barreras de protección físicas o inmateriales (tipo células de seguridad).

También hay que tener en cuenta los riesgos psicosociales que podrían relacionarse con el miedo al contacto con el robot, por ejemplo. Asimismo, la necesidad de supervisar a estos robots puede aumentar la carga mental asociada a la propia tarea.

Además, los cambios organizativos ligados a la introducción de los robots colaborativos en la empresa provocan a veces situaciones de aislamiento, por ejemplo, cuando los compañeros y compañeras no son numerosos o están alejados físicamente.

La siguiente tabla (elaboración propia) incorpora los riesgos derivados de la interacción humano-robot colaborativo extraídos de dos fuentes principalmente:

- Los contenidos web del [Institut Santé et sécurité au travail](#) de Francia sobre [la identificación de riesgos derivados de la interacción entre la persona usuaria y el robot colaborativo](#).
- Los contenidos web del proyecto *R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0* y en particular, la guía [Robots industriales y cobots en prevención de riesgos laborales](#) (2019)⁶⁶ que identifica los riesgos laborales y ergonómicos aportando medidas preventivas al respecto.

RIESGOS LABORALES DERIVADOS DE LA INTERACCIÓN CON EL ROBOT COLABORATIVO Y POSIBLES CAUSAS DE EXPOSICIÓN AL RIESGO

Información basada en: [INRS](#) y Proyecto [R-evolución industrial: prevención y retos 4.0](#)

Riesgos de seguridad	Causas de exposición al riesgo
Contactos mecánicos	<p>Acceso a partes peligrosas durante el funcionamiento automático (brazos y herramientas del equipo).</p> <p>Durante el ajuste y/o programación o pruebas del robot, durante tareas de limpieza o mantenimiento, por arranque intempestivo.</p> <p>El robot excede el área restringida sin límites de distancia de seguridad claros en la trayectoria de trabajo.</p> <p>Obstáculos físicos durante el funcionamiento colaborativo.</p> <p>Velocidad de aproximación rápida de la persona usuaria y tiempo de reacción lento del robot.</p>
Proyecciones de materiales e impactos físicos	Materiales del proceso como partículas, polvo, chispas, salpicaduras, piezas manipuladas, etc.

⁶⁶ AIDIMME, FEMEVAL FEVAMA, Unión de Mutuas, Unimat Prevención y Agrupación innovadora Valmetal, Generalitat Valenciana (2019). [Robots industriales y cobots en prevención de riesgos laborales](#).

RIESGOS LABORALES DERIVADOS DE LA INTERACCIÓN CON EL ROBOT COLABORATIVO Y POSIBLES CAUSAS DE EXPOSICIÓN AL RIESGO

Información basada en: [INRS](#) y Proyecto [R-evolución industrial](#): prevención y retos 4.0

Riesgos térmicos	Quemaduras por contacto (calientes o frías), atmósfera inflamable o explosiva por disolventes, polvo metálico, etc.
Riesgos eléctricos	Durante el mantenimiento por elementos más aislados, derivaciones, etc.
Riesgos higiénicos	Causas de exposición al riesgo
Exposición a temperaturas inadecuadas	Temperatura excesiva relacionada con el proceso de trabajo. Calor o frío radiante.
Presencia de productos químicos	Exposición a productos químicos peligrosos como la pintura, soldadura, polvo, etc. empleados en el proceso de trabajo.
Exposición al ruido	Derivado del propio del proceso de trabajo.
Exposición a vibraciones	Contacto con conexiones, cierres, etc. o durante el guiado manual.
Exposiciones a radiaciones	Dependiendo de la actividad concreta: ionizantes o no ionizantes.
Exposición a campos electromagnéticos	Campos eléctricos o magnéticos estáticos y campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables.
Riesgos ergonómicos	Causas de exposición al riesgo
Adopción de posturas forzadas	Limitaciones físicas por falta de espacio de trabajo libre durante la interacción. Defectos en el diseño a nivel ergonómico del robot con respecto a la tarea concreta. Duración del proceso de colaboración. Obstáculos físicos que dificultan el campo de visión libre de la persona usuaria. Mal uso del sistema por falta de información y formación específica. Falta de tiempo de recuperación: pausas y descansos durante la jornada.
Movimientos repetitivos	Simplicidad de las tareas en el puesto de trabajo. Escasa variedad de tareas. Duración del proceso de colaboración. Defectos en el diseño a nivel ergonómico del robot con respecto a la tarea concreta. Falta de tiempo de recuperación: pausas y descansos durante la jornada.

RIESGOS LABORALES DERIVADOS DE LA INTERACCIÓN CON EL ROBOT COLABORATIVO Y POSIBLES CAUSAS DE EXPOSICIÓN AL RIESGO

Información basada en: [INRS](#) y Proyecto [R-evolución industrial](#): prevención y retos 4.0

Riesgos ergonómicos	Causas de exposición al riesgo
<p>Manipulación manual de cargas</p>	<p>Duración del proceso de colaboración. Defectos en el diseño a nivel ergonómico del robot con respecto a la tarea concreta. Mal uso del sistema por falta de información y formación específica. Falta de equipos mecánicos adecuados en la tarea de manipulación. Falta de tiempo de recuperación: pausas y descansos durante la jornada.</p>
Riesgos psicosociales	Causas de exposición al riesgo
<p>Aislamiento social</p>	<p>Continua interacción humano-robot y escasas posibilidades de relación social. Duración del proceso de colaboración.</p>
<p>Altas exigencias sensoriales</p>	<p>Limitaciones psicológicas debido a los riesgos potenciales de choques o contactos. Duración del proceso de colaboración.</p>
<p>Altas exigencias cognitivas</p>	<p>Limitaciones psíquicas relacionadas con las actividades de vigilancia y control del robot. Duración del proceso de colaboración.</p>
<p>Escasa influencia en el trabajo y falta de autonomía</p>	<p>El ritmo de trabajo lo marca el robot y la persona usuaria debe seguirle. Duración del proceso de colaboración.</p>
<p>Trabajo monótono y escasas exigencias cuantitativas</p>	<p>Simplicidad de las tareas en el puesto de trabajo. Escasa variedad de tareas. Duración del proceso de colaboración.</p>

Respecto a las posibles [medidas preventivas el INRS propone una serie de medidas preventivas relacionadas con la operación colaborativa](#) basada en los cuatro principios de seguridad. Estos 4 principios se pueden combinar entre sí, según los resultados de la evaluación de riesgos, y provienen de la [Norma internacional, europea y española UNE-EN ISO 10218-2:2011](#) (versión corregida, septiembre 2016)⁶⁷. Son:

⁶⁷ Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. (ISO 10218-2:2011).

- La parada nominal de seguridad controlada. Este principio consiste en detener los movimientos del robot tan pronto como la persona usuaria entra en el espacio de trabajo colaborativo.
- Guiado manual. La operación que permite la guía manual del robot con un mango de validación y una parada de emergencia.
- Control de velocidad y de la distancia de separación. Este principio de seguridad consiste en mantener una distancia de separación entre la persona usuaria y el sistema del robot según sus movimientos y la distancia de alcance.
- Limitar la potencia y la fuerza del robot por diseño o control. A diferencia de los otros elementos de seguridad, este permite, bajo ciertas condiciones, el contacto entre la persona trabajadora y el sistema del robot en el espacio de trabajo colaborativo.

Estas medidas técnicas para resultar efectivas deben complementarse con medidas organizativas y formativas, tales como:

- El desarrollo de acciones de formación en el uso seguro del robot por parte de las trabajadoras y los trabajadores y en el desarrollo de nuevas competencias. Esto incluye cambiar la actividad de la persona trabajadora hacia tareas con mayor valor añadido, reducción de tareas repetitivas y monótonas, enriquecimiento de tareas manuales mediante tareas de supervisión, de gestión y de previsión.
- El monitoreo de la actividad mediante la observación de los cambios introducidos por el robot colaborativo, incluyendo sus impactos ergonómicos y psicosociales. El objetivo es garantizar que no surjan limitaciones físicas y/o psicológicas, incluso mucho después de la integración del robot colaborativo en el puesto de trabajo.
- El cambio de organización del trabajo por medio de la adaptación del trabajo a la persona, la modificación del puesto de trabajo, y la reorganización del trabajo colectivo en la sección. Se trata de definir de forma muy clara el reparto de tareas en la actividad entre la persona trabajadora y el robot colaborativo pero también de clarificar y articular los roles de cada uno en el equipo, sin menoscabo del apoyo social necesario en el desempeño del trabajo.

EJEMPLO

Video en francés del INRS (Institut Santé et sécurité au travail, 2020): [Robots collaboratifs. Identifier les risques pour les prévenir](#) (**Robots colaborativos. Identificar los riesgos para su prevención**).

Algunas de las medidas preventivas frente a los trastornos musculoesqueléticos propuestas por el proyecto *R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0* son las siguientes:

- Planificar el desarrollo de estudios ergonómicos específicos.
- Establecer pausas en el trabajo para facilitar la recuperación muscular.
- Respetar los límites de la carga a manipular.
- Disponer de los medios mecánicos para el manejo de cargas.
- Realizar el diseño ergonómico de los espacios de trabajo colaborativos: alturas de trabajo hasta la zona de los codos y según la precisión de la tarea y limitar las distancias y los alcances.
- Dotar de asientos y de apoyos para evitar la bipedestación prolongada.
- Realizar el diseño ergonómico de los mandos y dispositivos.
- Realizar el diseño ergonómico de la propia tarea y del conjunto de tareas que conforman el puesto de trabajo: ciclos, ritmos, velocidad, dimensiones, posicionamiento de materiales, acopio, etc.
- Establecer un sistema de rotación de tareas según las exigencias físicas y posturales.
- Incorporar ejercicios de calentamiento previo al inicio de la actividad laboral (pero dentro de la jornada laboral).
- Realizar estudios de puestos, anticipando los cambios en el trabajo de las personas, especialmente en la organización del trabajo.
- Prestar atención a los ritmos de trabajo, el tiempo de parada y la autonomía de la persona usuaria.
- Vigilar las posibles repercusiones sobre la experiencia del personal (cambios, pérdida de conocimientos, etc.).
- Potenciar la formación continua del personal.

Por último, cabe destacar una de las medidas preventivas por excelencia que incorpora y que pone en valor la importancia de la participación de los trabajadores y de las trabajadoras y su representación legal de la plantilla: *Gestionar la introducción de los robots colaborativos en el puesto de trabajo y en la empresas de una manera global y participativa, desde el principio y analizando los riesgos asociados.*

Riesgos asociados al Exoesqueleto

El Instituto Federal de Salud y Seguridad en el Trabajo de Dortmund (Alemania) elabora para la EU-OSHA⁶⁸ el documento de consulta en el que se analiza el papel que pueden jugar los exoesqueletos en la prevención de los trastornos musculoesqueléticos a la vez que aborda los potenciales riesgos derivados de su aplicación en diversos ámbitos. Los riesgos potenciales a nivel de seguridad laboral de los exoesqueletos industriales son numerosos y están relacionados con su diseño y funcionalidad.

La siguiente tabla (elaboración propia) incorpora los riesgos derivados de la interacción humano-exoesqueleto extraídos de tres fuentes principalmente:

- La publicación de la Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA) sobre el [Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y salud en el trabajo](#).
- Los contenidos web del Institut Santé et sécurité au travail Francés sobre Exosquelettes. [Sommaire du dossier](#) (Exoesqueletos. Resumen del archivo). Destaca la publicación [Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs. État des connaissances \(Exoesqueletos en el trabajo: impacto en la salud y seguridad de los operadores. Estado de conocimiento\)](#) (2018). Coincide con los riesgos identificados por la EU-OSHA.
- Los contenidos web del proyecto *R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0* y en particular, la [Guía 4 Exoesqueletos y prevención de riesgos laborales](#) (2019)⁶⁹ que identifica los riesgos laborales y ergonómicos aportando medidas preventivas al respecto.

RIESGOS LABORALES DERIVADOS DE LA INTERACCIÓN CON EL EXOESQUELETO PASIVO Y POSIBLES CAUSAS DE EXPOSICIÓN AL RIESGO

Información basada en: [EU-OSHA](#), [INRS](#) y Proyecto [R-evolución industrial: prevención y retos 4.0](#)

Riesgos de seguridad	Causas de exposición al riesgo
Riesgo de caída al mismo nivel	Es factible que los exoesqueletos puedan aumentar el riesgo de sufrir lesiones durante un resbalón, un tropiezo o una caída. Este riesgo será menor si el exoesqueleto se dispone en los miembros superiores de la persona usuaria. Dependiendo del diseño, el material de construcción y el peso del exoesqueleto, puede verse restringida la libertad natural de movimiento de la persona usuaria, lo que puede dificultar el restablecimiento del equilibrio con la consecuente caída, incluso durante su uso y en la retirada del dispositivo.
Golpes por colisión o aplastamiento	Posibles colisiones entre el exoesqueleto y el propio equipo de trabajo, el robot o las máquinas con las que se trabaja. Por falta de espacio o de visibilidad o poco margen de maniobra en la ejecución de movimientos.

⁶⁸ Peters, M. y Wischniewski, S. (2019). [Impacto de la utilización de los exoesqueletos sobre la seguridad y salud en el trabajo](#). Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

⁶⁹ AIDIMME, FEMEVAL FEVAMA, Unión de Mutuas, Unimat Prevención y Agrupación innovadora Valmetal, Generalitat Valenciana (2019). [Guía 4 Exoesqueletos y prevención de riesgos laborales](#).

RIESGOS LABORALES DERIVADOS DE LA INTERACCIÓN CON EL EXOESQUELETO PASIVO Y POSIBLES CAUSAS DE EXPOSICIÓN AL RIESGO

Información basada en: [EU-OSHA](#), [INRS](#) y Proyecto [R-evolución industrial: prevención y retos 4.0](#)

<p>Dificultad en la evacuación</p>	<p>En caso de emergencia, los edificios deben ser evacuados rápidamente para garantizar la seguridad y la salud de todas las trabajadoras y los trabajadores en el centro de trabajo. Por lo tanto, la rápida extracción de un exoesqueleto resulta fundamental. El personal encargado de su diseño también debe considerar este tipo de situaciones de emergencia y evacuación, y ponerse en el peor de los casos en el que la persona portante puede encontrarse sola y tener que desprenderse del dispositivo por sí misma.</p>
<p>Disconfort y rozaduras</p>	<p>Por presiones mantenidas o fricciones de elementos del exoesqueleto con partes del cuerpo de la persona usuaria debido a una talla inadecuada, un mal diseño inicial, un mal ajuste a las dimensiones de la persona, un uso prolongado, movimientos de rangos excesivos, etc.</p>
Riesgos higiénicos	Causas de exposición al riesgo
<p>Disconfort térmico por llevar el dispositivo</p>	<p>Uso mantenido del exoesqueleto. Materiales textiles del dispositivo que impiden la transpiración y la ventilación de las partes del cuerpo en contacto.</p>
<p>Condiciones ambientales</p>	<p>Temperatura, la ventilación y la humedad del recinto debe ser acorde con el uso de los dispositivos. Propiciar la ventilación, la climatización y la ropa de trabajo adecuada.</p>
<p>Condiciones higiénicas inadecuadas</p>	<p>Por efecto del uso de un mismo equipo entre varias personas. Falta de mantenimiento adecuado y de sus elementos complementarios después de cada uso. Los elementos textiles del exoesqueleto que están en contacto con la persona deberán ser de uso individual y personal de cada usuario.</p>
Riesgos ergonómicos	Causas de exposición al riesgo
<p>Adopción de posturas forzadas</p>	<p>Por falta de espacio o de visibilidad o poco margen de maniobra en la ejecución de movimientos. Dificultades en su colocación al ponerlo o quitarlo. Por rebasar los límites fisiológicos de la persona provocando lesiones articulares. Desplazamiento de ciertas restricciones corporales a otras partes del cuerpo originando TME (por ejemplo, lumbalgias en el uso de exoesqueletos en miembros superiores).</p>
<p>Movimientos incontrolados</p>	<p>Derivados de la perturbación del movimiento por modificación en el reparto de masas y por la inercia de la persona usuaria.</p>

RIESGOS LABORALES DERIVADOS DE LA INTERACCIÓN CON EL EXOESQUELETO PASIVO Y POSIBLES CAUSAS DE EXPOSICIÓN AL RIESGO

Información basada en: [EU-OSHA](#), [INRS](#) y Proyecto [R-evolución industrial: prevención y retos 4.0](#)

<p>Disconfort comprensiones de músculos o nervios, y/o irritaciones en la piel</p>	<p>Por contacto directo o presión mantenida con el exoesqueleto.</p>
<p>Aumento de la carga física global (carga adicional)</p>	<p>El peso del propio dispositivo que porta la persona usuaria y la propia realización de movimientos puede provocar un aumento del ritmo cardiovascular. Mayor peso soportado.</p>
<p>Movimientos trabados</p>	<p>Dificultades sensoriales respecto al tacto, la percepción de la fuerza y el control de los movimientos. Esta condición puede dar lugar a trastornos sensoriales y a la reducción de masa muscular por desadaptación muscular dada la inmovilización o reducción de la movilidad de una articulación. Para evitarlo, puede utilizarse un extensor que proporcione un refuerzo adicional en esta zona, aunque en determinadas operaciones dicho extensor puede también, restringir el movimiento.</p>
Riesgos psicosociales	Causas de exposición al riesgo
<p>Pérdida de control y autonomía</p>	<p>Sensación de falta de control sobre la tarea.</p>
<p>Aumento de exigencias cognitivas</p>	<p>Incremento de las exigencias de atención y de concentración, así como la puesta en duda de la experiencia de la persona usuaria, la presión de los tiempos, etc.</p>
<p>Desarrollo de habilidades</p>	<p>Incidencia sobre la pericia de las personas usuarias por la necesidad de reajustar sus habilidades motrices y sensitivas por medio del uso del exoesqueleto.</p>

La incomodidad es uno de los aspectos que presenta más desafíos y puede impedir una amplia aplicación de exoesqueletos en los lugares de trabajo industriales. Además, a nivel psicosocial la persona portante del exoesqueleto puede sentirse menos válida cuando emplea el exoesqueleto. Puede conducirle a la estigmatización en el lugar de trabajo, ya que puede parecer que las personas dependen del dispositivo para poder trabajar, siendo en este caso el trabajador y la trabajadora la que se adapta al dispositivo vinculado a un rendimiento y productividad que determina la empresa.

Las conclusiones que muestran los autores en torno a la eficacia preventiva de los exoesqueletos pasivos y su impacto en la exposición a riesgos emergentes son diferentes e incluso contradictorias. Este hecho podría basarse en la diversidad de exoesqueletos. Cada dispositivo tiene su propia estructura más o menos regulable, la función y tarea laboral para la que se diseña, por ejemplo, las exigencias del trabajo más dinámicas o más estáticas, tienen un gran impacto en los costes metabólicos de las personas usuarias del exoesqueleto, y hacen que sea aún más difícil hacer afirmaciones generales. Es importante mencionar que los efectos de los exoesqueletos en el cuerpo humano no pueden generalizarse.

El documento concluye haciendo mención al grupo de investigadores- en la evidente falta de prueba científica y la falta de experiencia práctica sobre los riesgos para la seguridad y la salud de los exoesqueletos.

Respecto a las medidas preventivas frente a los trastornos musculoesqueléticos el proyecto R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0, sí hace mención a:

- Realizar una valoración previa de la situación de trabajo y de las necesidades reales antes de decidir qué tipo de dispositivo se va a incorporar.
- Elaborar una evaluación de riesgo previa a la integración y específica para el personal que utilizará el exoesqueleto.
- Seleccionar el exoesqueleto adecuado y realizar los ajustes necesarios según las características de las personas usuarias y sus dimensiones antropométricas, de forma que faciliten la movilidad y permitan la maniobra sin riesgos posturales en el espacio de trabajo.
- Durante la prueba piloto, tener en cuenta factores como el espacio, zonas de circulación, reorganización de tiempos de trabajo, redistribución de las cargas, visibilidad, etc.
- Formar a la persona usuaria en la colocación y retirada, regulación y ajustes del exoesqueleto, incluyendo bloqueo y desbloqueo de elementos, etc. En definitiva, para la adquisición de las nuevas habilidades requeridas por el exoesqueleto.
- Determinar los límites de uso y garantizar la movilidad para el desempeño cómodo y sin riesgos musculoesqueléticos en la tarea, sin sobrepasar límites de esfuerzos. Establecer periodos de uso máximos, alternando con tareas físicas en las que no se utilice el exoesqueleto. Entrega de instrucciones y procedimientos.
- Adaptar la rigidez del exoesqueleto en caso de manipulación manual de cargas.
- Establecer un periodo de adaptación de la persona usuaria al uso del dispositivo hasta comprobar la adecuada colocación, ajuste y retirada del exoesqueleto y el desarrollo de los trabajos con fluidez.
- Valorar la implantación de programas de ejercicios para el fortalecimiento muscular.

Como resultado destacar que ya se ha mencionado que 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 las diferencias de sexo 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.



Actualmente se trabaja en la fabricación de exoesqueletos con materiales ligeros como el aluminio y materiales compuestos. 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.

Aunque los exoesqueletos se asocian a la disminución de TME, no siempre será posible alcanzar este objetivo. Esto se debe a que los TME se producen por varias causas que pueden actuar de forma simultánea y acumulativa, como son la repetitividad de movimientos, la adopción de posturas forzadas y la manipulación manual de cargas, y los exoesqueletos no actúan sobre todas ellas.

3. FORTALEZAS Y DEBILIDADES, OPORTUNIDADES Y AMENAZAS: ROBOTICA Y SU INFLUENCIA EN LAS CONDICIONES DE TRABAJO

La Industria 4.0 sitúa al ser humano en el centro del sistema, haciendo que la colaboración entre el humano y la tecnología robótica sea el punto focal de la preocupación. La interacción eficiente de un sistema tan complejo (humano-robótica) no es fácil de lograr. La clave está en considerar dicha interacción desde la fase de diseño robótico, de un diseño además, centrado en la persona usuaria, en sus condiciones de seguridad y salud, e incorporando los criterios ergonómicos como un aspecto prioritario en el diseño, sin descuidar los aspectos éticos de las nuevas tecnologías.

Así pues, el uso y aplicación de la tecnología robótica industrial presenta numerosas ventajas que para resultar beneficiosas desde el punto de vista preventivo y convertirse en oportunidades para la mejora de las condiciones de trabajo, debe superar una serie de barreras, solventando sus propias debilidades y las amenazas del entorno.

A partir de aquí, se resumen brevemente algunas de las Fortalezas y Debilidades, Oportunidades y Amenazas (análisis DAFO) extraídas de la literatura de referencia empleada en el desarrollo de este documento. En su mayoría bajo el punto de vista productivo para la mejora de la productividad, el aumento de la competitividad y en última instancia, la reducción del absentismo laboral relacionado con la pérdida de salud de las personas trabajadoras. Muchas de ellas se refieren en general a la tecnología robótica avanzada que incluye a los robots industriales tradicionales, otras en exclusiva a los robots colaborativos y otras a los dispositivos exoesqueletos pasivos, y en algunos casos a los activos.

La siguiente tabla muestra esta misma información desde el punto de vista preventivo en beneficio de la dirección de la empresa y de las trabajadoras y trabajadores y su representación legal en la empresa. En definitiva, pretende responder a la siguiente pregunta: *¿Cuáles son los posibles aspectos positivos y aspectos negativos respecto a cómo la tecnología robótica influye o puede influir en las condiciones de trabajo en la empresa y en la salud laboral de las personas trabajadoras?*

ASPECTOS POSITIVOS

Fortalezas (ventajas)

- Aumento de la flexibilidad productiva ([Asociación Española de Robótica y Automatización](#)). Los robots industriales en particular permiten personalizar la producción mediante su programación y la adaptación de accesorios, para producir muy diferentes tipos de piezas. Además, los **robots colaborativos** son flexibles a la hora de realizar cambios en las líneas de producción, lo que facilita hacer series de producción más cortas y adaptarse a un mercado cada vez más exigente. (*R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0*).
- Incremento de la productividad con los **robots colaborativos** ([Asociación Española de Robótica y Automatización](#)). Aumentos de productividad debido a la alta velocidad y bajos tiempos de ciclo de producción, así como, la disminución de pasos en los procesos productivos. También puede aumentar la productividad por el trabajo conjunto derivado del reparto eficiente de las tareas y su simultaneidad que tiene un efecto sinérgico sobre la productividad final. (*R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0*). Por ejemplo al realizar operaciones de carga, descarga o picking, sin tener que detener el robot, al contrario de lo que ocurre en la robótica industrial tradicional ([INRS](#)).

ASPECTOS POSITIVOS

Fortalezas (ventajas)

- Mejora de la calidad del producto acabado por medio de los robots industriales ([Asociación Española de Robótica y Automatización](#)). Esta mejora contribuye a la reducción de costes ya que hay menos piezas defectuosas y se contribuye al ahorro de materias primas. Además, la calidad del producto mejora como resultado de una mayor predictibilidad y repetitividad de los resultados de fabricación (*R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0*).
- Mayor calidad del puesto de trabajo desempeñado por la persona trabajadora, de forma que pueden dedicarse a tareas con mayor valor añadido, más creativas y livianas, tareas que implican acciones distintas, cambios de respuesta, etc. trabajando de forma complementaria con el **robot colaborativo** (*R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0*).
- Mejora de las condiciones ergonómicas con los **robots colaborativos**. La automatización de tareas de mayor carga física y postural disminuye la exposición a riesgos ergonómicos como los movimientos repetitivos y las posturas forzadas, por lo que contribuye a disminuir los TME (*R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0*).
- La normativa no contempla incrementar el límite de la carga máxima a elevar manualmente por la persona usuaria del **exo esqueleto**. (*R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0*).
- En algunos casos, los **exo esqueletos pasivos** han demostrado su eficacia en la reducción del esfuerzo muscular a nivel local ([INRS](#)).

Oportunidades (posibilidades de mejora que ofrece el entorno)

- Los sindicatos son más importantes que nunca a la hora de afrontar una nueva y drástica transformación industrial: son los actores fundamentales para gestionar el cambio socioeconómico y político (IndustriALL Global Union).
- Muchas de las tareas y operaciones con mayores exigencias físicas y posturales, las más pesadas a nivel ergonómico, pueden pasar a ser desarrolladas por **robots colaborativos** reduciendo la exposición a riesgos laborales (IndustriALL Global Union).
- Las personas trabajadoras de más de 55 años de edad y las personas con limitaciones físicas o con discapacidad podrían conservar su trabajo por más tiempo sin generar una incapacidad permanente, por medio del trabajo **colaborativo** con los robots y/o con la ayuda técnica de los **exo esqueletos pasivos** (IndustriALL Global Union). Se identifica al exo esqueleto como una oportunidad para las personas de más edad, que pueden trabajar durante más tiempo y de forma más saludable. También para aquellas personas con algún tipo de limitación o discapacidad física. ([Generalitat de Catalunya](#)).
- Mejora de la imagen de modernidad de la empresa a nivel competitivo ([Asociación Española de Robótica y Automatización](#)).

ASPECTOS POSITIVOS

- La proliferación de la automatización y la robótica como algo que puede ser positivo para la seguridad y la salud de un trabajador y de la trabajadora. La robótica y la IA pueden aliviar a las personas trabajadoras de tareas repetitivas y estresantes susceptibles de provocar trastornos musculoesqueléticos o riesgos para la salud mental⁷⁰ ([European Trade Union Institute, ETUI-Bruselas](#)).
- Tecnología accesible a las PYMES. El menor coste económico y el retorno de la inversión realizada es más rápido en los **robots colaborativos** comparado con el robot industrial tradicional. La alta adaptabilidad a diferentes tareas, su multitud de elementos y herramientas, su programación más intuitiva para las personas no expertas y los menores requerimientos de espacio sin protecciones perimetrales, pueden facilitar su implementación en la pequeña y mediana empresa ([R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0](#)).
- Menor dependencia de empresas proveedoras de tecnología. Los sistemas de programación de los **robots colaborativos** permiten que, una vez instalados, sea más fácil reprogramarlos por las empresas usuarias. ([R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0](#)).
- 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 PYMES. ([CCOO Industria, CCOO Servicios y CCOO Servicios a la Ciudadanía](#)).
- La tecnología robótica avanzada permitirá eliminar la exposición de las personas a los lugares de trabajo peligrosos para su salud y seguridad laboral. La robótica pueden reducir la necesidad de que los trabajadores desempeñen tareas peligrosas o rutinarias susceptibles de provocar estrés o trastornos musculoesqueléticos ([OIT](#)). Por ejemplo, ya se están utilizando robots para ejecutar tareas repetitivas y monótonas, para manejar materiales radiactivos y para trabajar en atmósferas explosivas. En el futuro, los robots realizarán muchas otras operaciones repetitivas, arriesgadas o molestas en gran diversidad de sectores como la agricultura, la construcción, el transporte, la sanidad, la extinción de incendios y los servicios de limpieza. ([Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo](#)).
- El **exoesqueleto activo** pueden utilizarse, por ejemplo, para modificar los movimientos físicos y ergonómicos habituales, permitiéndoles levantar cargas pesadas, aunque dificultando movimientos más sencillos y afirma que pueden resultar útiles para prevenir trastornos musculoesqueléticos y mejorar la eficiencia del trabajador, pero pueden conllevar riesgos para el trabajador que maneja el equipo, tales como el lijado de techo. Insiste en que un exoesqueleto bien diseñado y adaptado a una tarea específica puede ayudar a mejorar las condiciones de trabajo⁷¹ ([ETUI](#)).

⁷⁰ Drahokoupil J. (2020). *The challenge of digital transformation in the automotive industry. Jobs, upgrading and the prospects for development*. (El desafío de la transformación digital en la industria de la automotriz. Empleos, modernización y perspectivas de desarrollo). The European Trade Union Institute (ETUI-Bruselas).

⁷¹ Denis Baudier. (2017). *Exoskeletons: taking off the strain?* (Exoesqueletos: ¿quitar la tensión?) Especial report, numero 16 autumn-winter 2017, 27-30, Magazine HesaMag the European Trade Union Institute (ETUI-Bruselas).

ASPECTOS NEGATIVOS

Debilidades (desventajas y barreras)

- Existen evidentes incertidumbres relacionadas con el uso de los **exoesqueletos** y los efectos secundarios a largo plazo en la salud de las personas usuarias, tales como la atrofia muscular y la isquemia. No existe evidencia científica sobre este aspecto (Revista Seguridad y Salud en el Trabajo del [INSST](#)).
- Uno de los factores que las personas usuarias de **exoesqueletos** consideran más desfavorables son el peso, la presión, el calor o el rozamiento. (Revista Seguridad y Salud en el Trabajo del [INSST](#)).
- Teniendo en cuenta el conjunto de la instalación y el proceso de trabajo, la implantación de **robots colaborativos** no siempre permiten aumentar la productividad. Por ejemplo, es frecuente limitar la velocidad de movimiento del robot colaborativo, lo que puede ser incluso incompatible con la producción. Del mismo modo, la productividad puede reducirse si el robot se detiene debido a la presencia de personas ([INRS](#)).
- Los **exoesqueletos** sólo ayudan a evitar ciertas limitaciones biomecánicas, como el esfuerzo excesivo por la adopción de una postura inadecuada concreta. Este equipo no ayuda a reducir la repetitividad de los movimientos que es una de las causas principales de los TME. Además, pueden cambiar las exigencias físicas y posturales y trasladarse a otras partes del cuerpo, antes sin riesgo postural. [INRS](#).
- Falta de autonomía energética en el caso de **exoesqueletos activos**. El tiempo de uso es limitado y está sujeto al uso de baterías. [R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0](#).
- Los **exoesqueletos** tienen que ajustarse para los diferentes pesos a manejar lo que puede suponer un ajuste erróneo y causar daños a la persona usuaria. El equipo se debe regular en función de la sensación de peso que perciba la persona. ([R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0](#)).

ASPECTOS NEGATIVOS

Amenazas (situaciones desfavorables del entorno)

- Se prevé que más de la mitad de todos los empleos existentes cambien notablemente o desaparezcan⁷². ([OIT](#)).
- Muchas de las tareas y operaciones realizadas actualmente por trabajadores y trabajadoras, pueden desaparecer para pasar a ser desarrolladas por robots industriales tradicionales y en menor medida, por **robots colaborativos** (IndustriALL Global Union).
- La reducción de los costes de la mano de obra a partir de la sustitución del humano por el robot industrial tradicional con la automatización ([Asociación Española de Robótica y Automatización](#)).
- Desde el punto de vista de la productividad, suele ser preferible utilizar aplicaciones totalmente automatizadas en las que se sustituye a la persona por robot un robot tradicional, ya que son mucho más rápidos y precisos que los **robots colaborativos**. ([INRS](#)).
- Mayor rango de tareas automatizables con el **robot colaborativo**. El menor coste y mayor facilidad de implementación en el puesto de trabajo, permite su uso en casos en los que no es viable una automatización total o no resulta rentable con robots industriales tradicionales, bien por el volumen de producción o por la dificultad de adaptación. ([R-Evolución industrial: prevención y retos 4.0](#)).
- Los **exoesqueletos pasivos** se están utilizando en las empresas y no cuentan con regulación legal y normativa específica ni a nivel técnico de diseño ni respecto a los requisitos de seguridad y salud. ([R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0](#)).
- El uso de los exoesqueletos puede crear otros riesgos relacionados con el peso propio del dispositivo o por la incomodidad asociada a la realización de ciertos movimientos, por ejemplo. En este caso, el esfuerzo físico global puede aumentar ([INRS](#)).

A partir de los datos extraídos en la tabla de análisis DAFO se pueden definir como delegados y delegadas de prevención de riesgos laborales, estrategias de futuro a implementar en las empresas, de manera que sea posible Corregir las Debilidades, Afrontar las Amenazas, Mantener las Fortalezas y Explotar las Oportunidades (análisis DAFO + análisis CAME) que ofrece o puede ofrecer la tecnología robótica en la mejora de las condiciones de trabajo a nivel ergonómico y en la mejora a la salud musculoesquelética de la población trabajadora.

⁷² OIT (2017) [Informe inicial para la Comisión Mundial sobre el Futuro del Trabajo](#). (2017). Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra.

4. RETOS DE FUTURO

Es real el interés mundial en la implementación de tecnología robótica para reducir el riesgo de sufrir Trastornos Musculo-esqueléticos (TME) relacionados con el trabajo. El principal reto pasa por combinar los beneficios de esta avanzada tecnología con las habilidades y la flexibilidad cognitiva de las personas trabajadoras, siempre adaptando el puesto de trabajo a la persona.

A continuación, se incluyen algunos de los retos de futuro extraídos de la literatura que pueden resultar más significativos en el ámbito de la salud laboral de los trabajadores y las trabajadoras y su representación legal en la empresa.

- Para mantener a los sindicatos fuertes y relevantes, se necesitan nuevas ideas y estructuras: debe inventarse e implementarse el Sindicato 4.0 como una respuesta eficaz a la Industria 4.0. Para asegurar los derechos de los trabajadores y las trabajadoras, los sindicatos necesitarán adaptar su cultura y estructuras a las nuevas realidades. Será de este modo como la necesidad fundamental que tienen los sindicatos de defender los derechos de los trabajadores y las trabajadoras permanecerán⁷³ ([IndustriALL Global Union](#)).
- Es fundamental invertir continuamente en la promoción de la prevención y en sistemas de gestión de la seguridad y salud, no sólo por el hecho de que estas inversiones permiten salvar vidas y eliminar los accidentes del trabajo y las enfermedades profesionales, sino también porque son una herramienta clave para mejorar la productividad y atraer a personas trabajadoras altamente calificadas en la industria en el futuro⁷⁴ ([OIT](#)).

EJEMPLO

La [Declaración del Centenario de la OIT para el Futuro del Trabajo](#) (2019) propone un programa centrado en las personas, y, en este contexto, pone de relieve la importancia de *“aprovechar todo el potencial del progreso tecnológico y el crecimiento de la productividad, inclusive mediante el diálogo social como objetivo para lograr trabajo decente y desarrollo sostenible y asegurar así la dignidad, la realización personal y una distribución equitativa de los beneficios para todos”*.

- Los desafíos en materia de seguridad y salud en el trabajo (SST) son los asociados a los riesgos ergonómicos de las nuevas formas de interacción hombre-máquina, la exposición a nuevos riesgos emergentes, y los desafíos planteados por la gestión y los resultados de la SST⁷⁵ ([OIT](#)).
- Destaca la importancia de invertir en las capacidades humanas para adquirir las nuevas competencias, habilidades y calificaciones requeridas en el futuro de trabajo y recomienda un aprendizaje a lo largo de la vida⁷⁶ ([OIT](#)).

⁷³ IndustriALL Global Union (2017). *El Desafío de la industria 4.0 y la exigencia de nuevas respuestas*. En su apartado 4 sobre *Repercusiones de la Industria 4.0 en las acciones y actividades sindicales del presente y el futuro*.

⁷⁴ OIT (2020) *El futuro del trabajo en la industria automotriz y la necesidad de invertir en la capacidad de las personas y el trabajo decente y sostenible*. Documento temático para la Reunión técnica sobre el futuro del trabajo en la industria automotriz (Ginebra, 15-19 de febrero de 2021), Oficina Internacional del Trabajo, Departamento de Políticas Sectoriales, Ginebra.

⁷⁵ OIT (2019). *Seguridad y Salud en el centro del Futuro del Trabajo: aprovechar 100 años de experiencia*. Oficina Internacional del Trabajo.

⁷⁶ OIT (2017) *Informe inicial para la Comisión Mundial sobre el Futuro del Trabajo*. (2017). Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra.

- Es responsabilidad de los equipos investigadores en materia de SST y de otros socios, el comprender las implicaciones de los escenarios del futuro del trabajo para llevar a la práctica intervenciones eficaces para que la dirección de las empresas salvaguarden la seguridad, la salud y el bienestar de sus trabajadores y sus trabajadoras⁷⁷ ([NIOSH](#)).
- Promover la profesionalidad en la empresa elevando el estatus de la persona trabajadora que pasa de ser un coste económico a ser el recurso más valioso en la organización, a través de la formación activa y continua para la capacitación específica en el uso de tecnología robótica (sindicato italiano FIM-CISL).
- Incluir en la negociación colectiva en la empresa los temas de capacitación de los trabajadores y las trabajadoras en el uso de la tecnología robótica, cómo influyen su implementación en la empresa a nivel organizativo y en la seguridad y salud de la plantilla (sindicato italiano FIM-CISL).
- Organizar la participación directa y activa de la plantilla es primordial en el avance tecnológico, tanto para añadir valor a la empresa como para proteger los intereses de los trabajadores y las trabajadoras (sindicato italiano FIM-CISL).
- Las configuraciones ergonómicas de los robots autónomos requieren nuevos métodos de ensayo y pruebas piloto en la industria y en los servicios, y será preciso diseñar nuevos planes de formación específicos para las personas trabajadoras que vayan a programar, mantener o compartir su espacio de trabajo con estos robots⁷⁸ ([EU-OSHA](#)).
- Deberían realizarse nuevos análisis para identificar los riesgos y las actividades menos seguras de los robots, en particular en las industrias agroalimentarias, en los servicios asistenciales y domésticos, en los sectores manufactureros, en los servicios profesionales y en el transporte ([EU-OSHA](#)).
- Los efectos de la robótica sobre la motivación y el bienestar de los trabajadores y las trabajadoras no son suficientemente conocidos. Se deberá prestar una mayor atención a los factores psicosociales relacionados con la tecnología robótica en el ámbito de la salud y la seguridad ([EU-OSHA](#)).
- Se deben solucionar los problemas transversales de desajuste entre formación y necesidades empresariales. El perfil del trabajador y la trabajadora del futuro no es un perfil con una formación reglada estática y construida en años de estudio académico, sino un perfil dinámico y flexible que sepa aplicar sus conocimientos a una realidad cambiante en el día a día. En este sentido es más interesante apostar por el fomento de la formación continua en la empresa y la formación DUAL. Dicha formación en la empresa en tiempo de trabajo es una de las medidas más interesantes a la hora de amortizar excedentes de tiempos provocados por la mejora en los procesos productivos como consecuencia del proceso de Digitalización ([CCOO Industria](#), [CCOO Servicios](#) y [CCOO Servicios a la Ciudadanía](#))⁷⁹.

⁷⁷ Tamers SL; Streit J; Pana-Cryan R; Ray T; Syron L; Flynn MA; Castillo D; Roth G; Geraci C; Guerin R; Schulte PA; Henn S; Chang C-C; Felknor S; Howard J (2020). *Envisioning the future of work to safeguard the safety, health, and well being of the workforce: a perspective from the CDC's*. (Visualizar el futuro del trabajo para salvaguardar la seguridad, la salud y el bienestar de la fuerza laboral: una perspectiva del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Am J Ind Med 2020 Dec; 63(12):1065-1084. <https://doi.org/10.1002/ajim.23183>

⁷⁸ Dr. Jari Kaivo-oja (2015). *Una revisión sobre el futuro del trabajo: la robótica*. Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

⁷⁹ CCOO Servicios a la ciudadanía, CCOO Industria y CCOO Servicios (2021). *Informe sectorial de las TIC. El Sector TIC, como motor de un modelo productivo de futuro*.

- Los sindicatos deberán lidiar con el aumento del empleo cualificado, particularmente entre las personas trabajadoras más jóvenes. Esto será un desafío para los sindicatos globales, ya que perder la relevancia dentro de este grupo podría ser el fin del movimiento obrero. ([IndustriALL Global Union](#)).
- El aumento de la presión sobre los trabajadores y las trabajadoras no manuales significa que deberán recurrir a los sindicatos para abordar los cambios introducidos en sus condiciones laborales ([IndustriALL Global Union](#)).
- El clásico modelo sindical basado en la relación diaria permanente y continua de los trabajadores y trabajadoras da paso, cada vez en mayor medida, a un modelo en el que tanto los tiempos de trabajo como los espacios físicos donde se trabaja cambian. Pasamos del sindicato con los pies en el centro de trabajo a la necesidad de organizaciones que necesitan de cierto grado de flexibilidad en la relación tanto de los trabajadores y trabajadoras entre sí, como de estos con su organización sindical. Y este paso no es ni mucho menos sencillo y urge el debate sobre el mejor modelo para afrontarlo⁸⁰ ([CCOO Servicios a la ciudadanía, CCOO Industria y CCOO Servicios](#)).
- La participación activa de hombres y de mujeres en el diseño y prueba piloto inicial de la tecnología robótica debe incluirse necesariamente. Solo así, será posible anticipar la exposición a los nuevos riesgos emergentes derivados del uso y aplicación de robots colaborativos y de exoesqueletos y sus posibles repercusiones en la salud laboral (distintas entre hombres y mujeres). Es un primer paso básico y fundamental para la prevención en origen, gestionar el riesgo eficazmente y reforzar la cultura de la prevención en materia de seguridad y salud en el trabajo. ([IndustriALL Global Union](#)).
- Aparecerán nuevos riesgos asociados a nuevos interfaces humano-robot, sobre los que habrá que actuar y prevenir como el control gestual como posible causante de TME o los sistemas con grandes exigencias visuales o de carga cognitiva ([R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0](#)).
- Existe una importante necesidad de regulación legal de los exoesqueletos pasivos. En estos momentos, la recomendación es regularlos según su uso previsto y, en función de ello, aplicar un reglamento u otro y cumplir unos requisitos u otros ([Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo, EU-OSHA](#)). No existe una legislación para los exoesqueletos pasivos, ni una norma de diseño técnico o procedimiento de certificación que permita considerar o comercializar este producto (no está considerado EPI en la Unión Europea). ([R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0](#)).
- Es preciso diseñar exoesqueletos más cómodos, ligeros, fáciles de usar y adaptables a las distintas características de las personas (Revista Seguridad y Salud en el Trabajo del [INSST](#)).
- El uso del exoesqueleto pasivo debe integrarse en la evaluación de riesgos del puesto de trabajo, donde se analicen sus potenciales impactos y se definan las medidas de prevención correspondientes ([R-Evolución Industrial: prevención y retos 4.0](#)).

⁸⁰ CCOO Servicios a la ciudadanía, CCOO Industria y CCOO Servicios (2021). *Informe sectorial de las TIC. El Sector TIC, como motor de un modelo productivo de futuro.*

- La eliminación de determinadas tareas específicas de un puesto de trabajo no significa necesariamente que ese puesto desaparezca. Simplemente, las personas trabajadoras tendrán que adaptarse a nuevos entornos laborales en los que trabajen junto a máquinas (inteligentes) y robots colaborativos⁸¹ (OCDE).
- Actuar de forma proactiva frente a la introducción de nuevos riesgos laborales derivados de estas nuevas tecnologías y de la interrelación humano-robot que puede llevar al incremento de los riesgos psicosociales, convirtiéndose en una importante fuente de siniestralidad laboral⁸² ([CCOO Industria](#)).
- Apostar por la Transición Justa que originalmente se propuso en respuesta a la necesidad de proteger el medioambiente, es hoy más importante que nunca en lo que respecta a la Industria 4.0. El objetivo no es detener a la Industria 4.0, ya que este fracasaría, sino hacer que esta transformación sea socialmente sostenible y justa para todos los trabajadores y las trabajadoras por igual, reforzando la participación sindical para una transición justa a la digitalización, y en concreto, para la robotización en el puesto de trabajo⁸³ ([CCOO Confederal](#)).

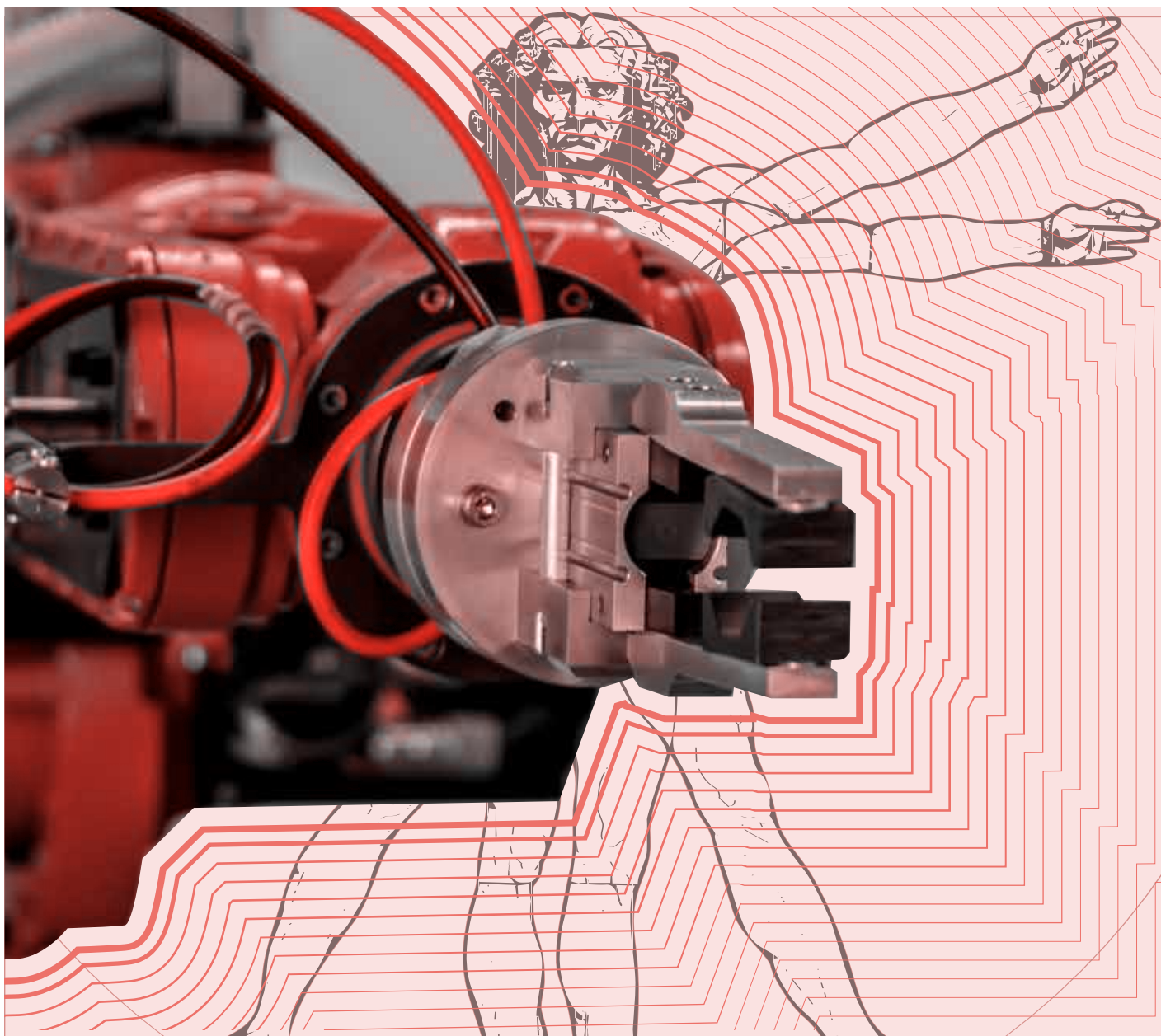
Es preciso anticiparse a los nuevos riesgos laborales. Es necesario realizar estudios que tengan en cuenta a los hombres y a las mujeres -jóvenes, con experiencia o sin ella, de más edad, a todas y a todos- para diseñar para las personas. También es preciso adoptar un enfoque multidisciplinar en la prevención de riesgos laborales sin dejar a nadie fuera del proceso de mejora (la plantilla, la representación legal, la dirección, el personal intermedio, el personal técnico en prevención de riesgos laborales y profesionales en ergonomía,...) e integrarles en el inicio, en una fase temprana, involucrándoles en la toma de decisiones y en el avance tecnológico en la empresa.

Los retos de futuro que recoge este apartado pueden servir y orientar a los delegados y las delegadas de prevención de riesgos laborales en la definición de estrategias y acciones de mejora de las condiciones de trabajo y en particular, en las condiciones ergonómicas asociadas a la implementación de tecnologías robóticas avanzadas en el puesto de trabajo y de su interacción con los trabajadores y las trabajadoras.

⁸¹ Arntz, M.; Gregory, T.; Zierahn, U., 2016: *The risk of automation for jobs in OECD countries: A comparative analysis*, OCDE Social Employment and Migration Working Paper No. 189 (París, OCDE).

⁸² CCOO Industria. (2018). *La digitalización de la industria. Afrontar los cambios en el empleo y en las relaciones laborales*. Área de Estrategias Sectoriales, Industria Comisiones Obreras.

⁸³ Confederación Sindical de CCOO (2019). *Digitalización, empleo y formación*.



**Para más información y asesoramiento,
póngase en contacto con la sección
sindical o con las delegadas y delegados
de CCOO de su empresa.**



933 100 000
consulta.ccoo.cat



www.ccoo.cat