ERGONOMÍA INTELIGENTE

TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LAS PERSONAS



CEOE Castilla y León | NOS IMPULSA | Junta de Castilla y León

CEOE Ávila · FAE Empresas Burgalesas · FELE Empresas de León · CEOE Empresas de Palencia · CEOE CEPYME Empresas de Salamanca · fes federación empresarial segoviana · FOES · CEOE Valladolid · CEOE Zamora

ÍNDICE
DE CONTENIDOS

Introducción 1
A quién va dirigida esta guía 2
Factores de riesgo ergonómico 3
Efectos sobre la salud. Principales trastornos musculoesqueléticos 5
La inteligencia artificial en la evaluación de riesgos ergonómicos 7
- Herramientas disponibles 8
- Obstáculos en la aplicación de la IA en ergonomía 12
- Modelo híbrido 12

Exoesqueletos 14
- Clasificación de exoesqueletos 15
    1.Según forma de funcionamiento 15
    2.Según la parte del cuerpo que asisten 17
- Selección de exoesqueletos 19
- Posibles efectos negativos y limitaciones en su implantación 22

Robots colaborativos (cobots) 23
- Contribución a la prevención de riesgos ergonómicos 24
- Principales diferencias con robots industriales tradicionales 25
- Medidas de seguridad en las aplicaciones colaborativas 26
- Aplicaciones y objetivos ergonómicos 27

Conclusión 28
Fuentes consultadas 29

CEOE Castilla y León | NOS IMPULSA | Junta de Castilla y León

CEOE Ávila · FAE Empresas Burgalesas · FELE · CEOE · CEOE CEPYME · fes · FOES · CEOE Valladolid · CEOE Zamora

INTRODUCCIÓN

La **ergonomía** es la disciplina que estudia la relación entre las personas y los elementos del sistema de trabajo, con el objetivo de adaptar las tareas, los equipos y el entorno a sus capacidades y necesidades. Su finalidad es **proteger la salud, mejorar el bienestar y favorecer un desempeño seguro y eficaz**. Para ello, considera conjuntamente las exigencias físicas y mentales, la organización del trabajo y las condiciones ambientales.

Los principales **factores de riesgo ergonómico** incluyen la manipulación manual de cargas, los esfuerzos elevados, los movimientos repetitivos, las posturas forzadas o mantenidas y la exposición a vibraciones. Sus **efectos** dependen de la intensidad, la frecuencia y la duración de la exposición, así como de la combinación de factores. Los ritmos de trabajo elevados, las pausas insuficientes, las demandas de atención y las condiciones ambientales inadecuadas también pueden aumentar las exigencias del puesto y dificultar la recuperación.

La exposición a estos factores puede contribuir a la aparición o al agravamiento de **trastornos musculoesqueléticos (TME)**, que afectan a músculos, tendones, articulaciones, ligamentos y nervios. Estos daños pueden manifestarse mediante dolor, molestias y limitaciones funcionales, especialmente en la espalda, el cuello y las extremidades. Pueden estar relacionados con un **sobreesfuerzo puntual** o desarrollarse **progresivamente por la acumulación** de exigencias y una recuperación insuficiente.



La **evaluación de riesgos** constituye una base esencial para la prevención. Permite identificar las condiciones que pueden causar daños, valorar la exposición y establecer prioridades de intervención mediante métodos adecuados a cada tarea.

La **inteligencia artificial** puede apoyar este proceso mediante herramientas que analizan datos de movimientos y posturas, identifican patrones de exposición y facilitan el seguimiento de determinadas condiciones de riesgo.

Los **exoesqueletos y los robots colaborativos** pueden contribuir a reducir determinadas exigencias físicas, proporcionando asistencia o asumiendo operaciones que implican esfuerzos, repetición o posturas desfavorables. Sin embargo, sus beneficios deben comprobarse en cada aplicación, ya que también pueden modificar la carga física y mental o generar nuevos riesgos.

Esta guía propone abordar **su incorporación desde una prevención centrada en las personas**, que priorice la eliminación de los riesgos y la mejora del diseño y de la organización del trabajo. La evaluación rigurosa, el apoyo de herramientas de IA, la participación de las personas trabajadoras, la formación y el seguimiento permitirán orientar decisiones hacia una mejora efectiva de la seguridad y la salud.

A QUIÉN VA DIRIGIDA ESTA GUÍA

Esta guía se dirige a **empresas, personal técnico de prevención y personas trabajadoras** interesadas en la incorporación de estas tecnologías.



FACTORES DE RIESGO ERGONÓMICO

Los factores de riesgo ergonómico pueden surgir cuando las **exigencias de las tareas**, los equipos, el **entorno** o la **organización del trabajo** no se adaptan adecuadamente a las capacidades y características de las **personas**.

Dentro de estos factores se incluyen tanto el diseño del puesto, los equipos y herramientas que se utilizan, como las exigencias de las tareas y las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Una iluminación insuficiente o deslumbrante, el ruido, las vibraciones y unas condiciones inadecuadas de temperatura, humedad o ventilación pueden afectar al confort, dificultar la ejecución del trabajo y aumentar la fatiga.

Entre estos aspectos están los relacionados con la **carga de trabajo**, entendida como el conjunto de exigencias **físicas y mentales** que una persona debe afrontar durante su actividad laboral.

Aunque todos ellos deben considerarse al analizar un puesto, esta guía centra su atención en los relacionados con la **carga física de trabajo**, sobre los que las tecnologías abordadas pueden contribuir a reducir la exposición.

Algunos de estos factores son los siguientes:

Posturas forzadas: posiciones que alejan las articulaciones de una postura cómoda y aumentan la tensión muscular, por ejemplo, trabajar con el tronco girado o los brazos por encima de los hombros.



Movimientos repetitivos: ejecución frecuente de movimientos similares que solicitan los mismos grupos musculares y articulaciones, por ejemplo, atornillar, empaquetar o cortar repetidamente.





Aplicación de fuerza: realizar esfuerzos musculares elevados para ejecutar una tarea, por ejemplo, utilizar herramientas que requieran una fuerza elevada para accionarlas o sujetar piezas con fuerza.

Manipulación manual de cargas: levantar, bajar, transportar, empujar, arrastrar o sostener objetos mediante esfuerzo físico, por ejemplo, mover cajas o empujar un carro cargado.

Posturas mantenidas: una postura puede resultar exigente por su duración, aunque no implique un ángulo extremo.



EFECTOS SOBRE LA SALUD. PRINCIPALES TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS

Los **trastornos musculoesqueléticos (TME)** de origen laboral constituyen un problema de salud laboral. Aunque pueden manifestarse en cualquier región anatómica, presentan una mayor incidencia en la **espalda** y en las **extremidades superiores.**

El cuerpo humano realiza actividades físicas de forma habitual, tanto en el entorno laboral como fuera de él. Para **responder a las exigencias de estas actividades**, el organismo pone en marcha una serie de mecanismos que permiten la **contracción muscular**, necesaria para generar fuerza, realizar movimientos y mantener las posturas requeridas.

Cuando estas exigencias superan la capacidad de respuesta del organismo o no se dispone de una recuperación suficiente, pueden producirse sobrecargas que favorezcan la aparición de **trastornos musculoesqueléticos**. Estos se definen como alteraciones que afectan a los músculos, tendones, articulaciones, ligamentos, nervios y otras estructuras del aparato locomotor, y pueden manifestarse con dolor, rigidez, pérdida de fuerza o limitación del movimiento.

Algunos de estos trastornos son los siguientes:

- **Lumbalgia**: dolor localizado en la parte baja de la espalda. Puede acompañarse de rigidez y dificultad para realizar movimientos como agacharse, incorporarse o girar el tronco.

- **Cervicalgia**: dolor en la región del cuello, que puede acompañarse de tensión muscular y limitación para mover la cabeza.

- **Tendinopatía:** alteración de un tendón, la estructura que une el músculo al hueso. Suele producir dolor al mover o cargar la zona afectada y puede reducir su capacidad funcional.

- **Bursitis:** inflamación de una bursa, una pequeña bolsa que reduce el rozamiento entre los tejidos próximos a una articulación. Puede causar dolor y dificultad para mover la zona afectada.

- **Síndrome del túnel carpiano:** trastorno producido por la compresión del nervio mediano a su paso por la muñeca. Puede provocar hormigueo, adormecimiento y dolor en parte de la mano, así como pérdida de fuerza.

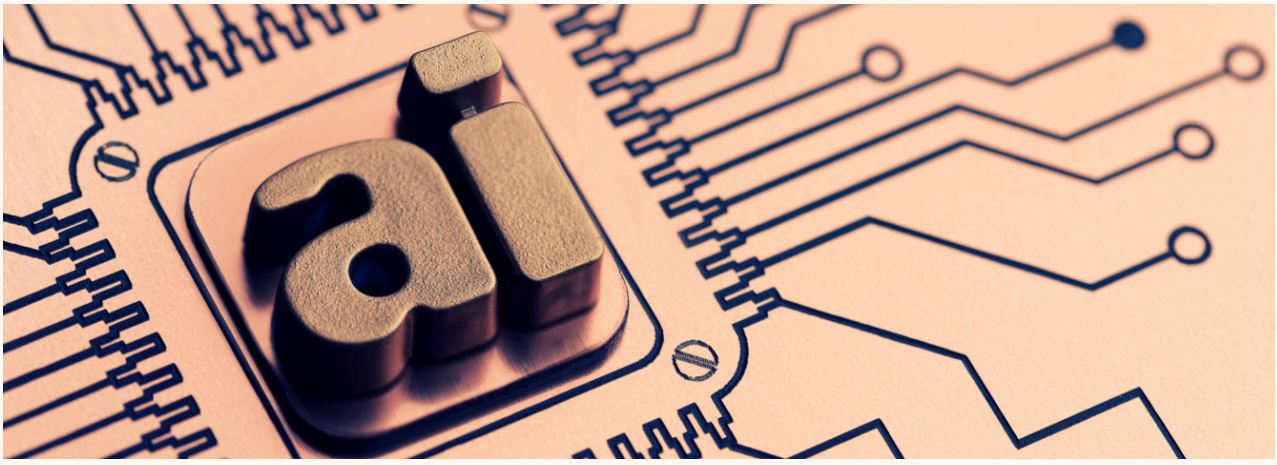


LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS ERGONÓMICOS

Históricamente, la ergonomía ha confiado en **métodos de evaluación estandarizados** con una validez contrastada. Métodos como NIOSH para levantamiento manual de cargas, RULA y REBA para analizar carga postural, han sido asumidas por organismos internacionales lo que garantiza su legitimidad científica y legal.

Sin embargo, estos métodos **presentan limitaciones** evidentes en entornos laborales modernos, caracterizados por su dinamismo y variabilidad. Requieren **observación directa, mediciones manuales** y dependen del criterio del evaluador, lo que introduce subjetividad y ambigüedad. Además, al capturar solo **momentos específicos** de riesgo, pueden pasar por alto la variabilidad postural y la fatiga acumulada. Su aplicación exhaustiva también demanda tiempo, lo que limita la capacidad de evaluación en múltiples puestos de trabajo.

La **incorporación de la IA** en la evaluación ergonómica ha supuesto una transformación radical en las restricciones que presentan los métodos tradicionales ya que ofrece nuevas posibilidades para analizar las posturas y los movimientos. El desarrollo de **algoritmos de aprendizaje automático, visión computacional y sensores portátiles** ha permitido automatizar el proceso de observación, medición análisis de riesgos.



Herramientas disponibles

Análisis de video mediante visión por computador: utiliza algoritmos para detectar puntos corporales en las imágenes y estimar la posición de los segmetos del cuerpo. A partir de secuencias de vídeo pueden obtenerse ángulos articulares, duraciones y patrones de movimiento que sirvan de entrada a una evaluación postural.

Su principal ventaja es la posibilidad de analizar numerosos ciclos sin colocar dispositivos sobre la persona. La fiabilidad depende, entre otros aspectos, de la ubicación de la cámara, la visibilidad de los segmentos y la capacidad del modelo para reconstruir el movimiento.

Algunas herramientas disponibles son las siguientes:

- **OpenPose:** desarrollada por investigadores de Carnegie Mellon University, permite detectar puntos del cuerpo, los pies, las manos y el rostro de varias personas en una misma imagen. Su funcionamiento habitual proporciona coordenadas bidimensionales. También dispone de procedimientos de reconstrucción tridimensional mediante varias cámaras. En ergonomía pude emplearse como base para estudiar posiciones de tronco y extremidades, identificar posturas forzadas y desarrollar sistemas que calculen componentes posturales de métodos como RULA.



- **DeepLabCut:** es una herramienta de aprendizaje profundo para estimar y seguir puntos definidos por el usuario sin necesidad de marcadores físicos. Su flexibilidad permite plantear análisis de regiones corporales o movimientos específicos de una tarea. En ergonomía podría utilizarse para seguir determinados puntos de hombros, codos o muñecas durante una operación repetitiva.



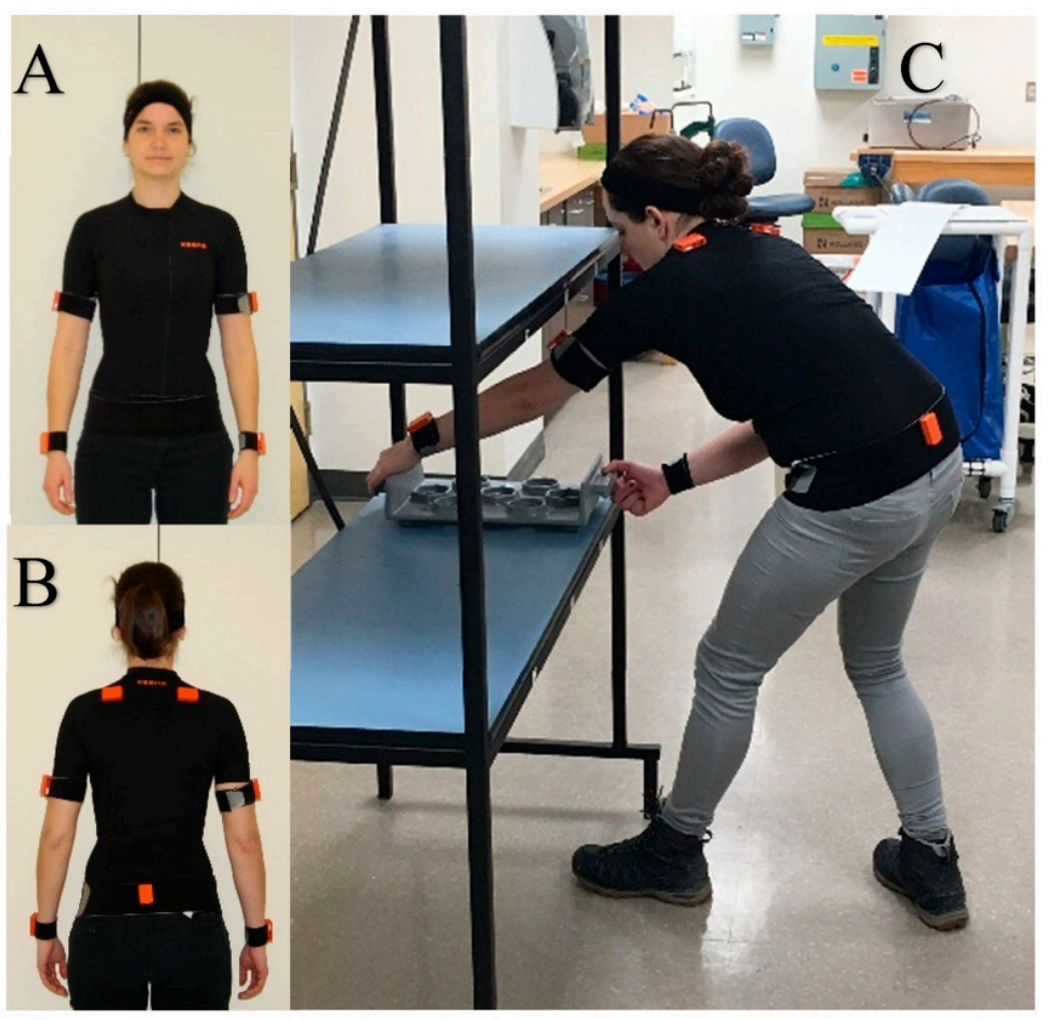
- **MediaPipe:** conjunto de herramientas de Google para incorporar modelos de aprendizaje automático en aplicaciones. Su componente Pse Landmarker estima 33 puntos corporales en imágenes, vídeos y transmisiones de cámara. Proporciona coordenadas de imagen y estimaciones tridimensionales, y está optimizado para aplicaciones que funcionan en el propio dispositivo y en tiempo real. En ergonomía, estos puntos pueden servir para desarrollar cácular de inclinación del tronco, elevación de brazos o flexión de cosos, así como registrar su evolución temporal.



Dispositivos y sensores portátiles (werables): permiten registrar señales durante la ejecución del trabajo. Las unidades de medida inercial-IMU- combinan habitualmente acelerómetros y giróscopos y, en algunos casos, magnetómetros para estimar movimientos y orientaciones. La electromiografía de superficie registra actividad eléctrica muscular.

Dispositivos como guantes o sensores de presión, aportan información complementaria sobre la interacción con herramientas y superficies.

Estos sistemas pueden resultar útiles cuando la persona se desplaza o trabaja en espacios que dificultan la grabación. No obstante, requieren un protocolo de colocación y calibración y una comprobación de la calidad de las señales.



Combinación de sensores inerciales y electromiografía

Algoritmos de aprendizaje automático: pueden ser entrenados para identificar patrones de movimiento, detectar anomalías en la biomecánica, predecir lesiones o recomendar ajustes ergonómicos. Predicen riesgos ergonómicos a través de grandes bases de datos.

La interpretación de sus resultados exige conocer cómo se entrenó y validó el algoritmo. Si las etiquetas de entrenamiento proceden de un método tradicional, el sistema aprende a reproducir esa clasificación. Como criterio de validación, conviene comprobar su comportamiento con personas, tareas y condiciones diferentes de las empleadas en el entrenamiento, prestando especial atención a los casos en los que infravalora el riesgo.

Gemelos digitales humanos (GDH): en ergonomía, estas herramientas permiten representar virtualmente el puesto, sus equipos y la actividad humana para analizar distintas configuraciones. Pueden combinar modelos del cuerpo, captura de movimiento y simulación física, y conectarse con datos del entorno real. Su utilidad preventiva consiste en ensayar cambios de alturas, alcances, distribuciones o interacciones con máquinas antes de implantarlos.

La interpretación depende de que el modelo represente adecuadamente las dimensiones corporales, las restricciones del puesto y la ejecución real de la tarea. Por ellos es recomendable contrastar las mejoras previstas por simulación con observaciones y mediciones después de su implantación. La existencia de una representación virtual detallada no debe considerarse, por si sola, una validación de resultados.



Obstáculos en la aplicación de la IA en ergonomía

El uso de IA en ergonomía profesional enfrenta **obstáculos importantes**. Además de la precisión de las mediciones, deben valorarse la representatividad de los registros, la transparencia del cálculo, los costes de implantación y la posibilidad de revisar los resultados.

También es necesario proteger la **privacidad** de los trabajadores y trabajadora, ya que la grabación continua en el entorno laboral también plantea preocupaciones sobre la protección de datos personales.

Modelo híbrido

Lo ideal es llevar a cabo evaluaciones de riesgo ergonómico con un enfoque híbrido, integrando la IA con modelos clásicos.

Una metodología recomendada puede ser la siguiente:

1. **Analizar el trabajo real y seleccionar el método tradicional de referencia**. Identificar tareas, variaciones, exigencias de fuerza, ritmos y recuperación, incorporando la información de las personas trabajadoras. Elegir el procedimiento tradicional apropiado para cada factor de riesgo (REBA, RULA, NIOSH, u otro).

2. **Registrar el trabajo**. Registrar ciclos, situaciones y periodos suficientes para reflejar la variabilidad de la exposición. Seleccionar vídeo, sensores o una combinación según las condiciones del puesto.

3. **Analizar los registros**. Utilizar la IA para extraer posturas, tiempos o patrones de movimiento. Completar mediante medición y observación las variables que no puedan obtenerse adecuadamente, como determinadas fuerzas, características del agarre o pausas reales.

4. **Aplicar método tradicional**. Utilizar la información obtenida para aplicar el método tradicional.

5. **Aplicar medidas y reevaluar.** Priorizar el rediseño del puesto, las ayudas técnicas y la mejora de la organización. Repetir la evaluación en condiciones comparables para comprobar el efecto de las medidas.

Por ejemplo, **en un puesto de preparación de pedidos**, el vídeo podría ayudar a identificar flexiones de tronco y frecuencias de levantamiento. La evaluación se completaría verificando las masas, las condiciones de agarre y los parámetros necesarios para aplicar la ecuación de NIOSH cuando corresponda. Tras modificar las alturas de almacenamiento, se repetiría el análisis para comprobar la mejora.



EXOESQUELETOS

Los exoesqueletos son **dispositivos externos que se colocan sobre el cuerpo** para proporcionar asistencia física durante determinados movimientos o posturas. En el ámbito laboral, su utilización busca disminuir las exigencias sobre el sistema musculoesquelético en tareas como la manipulación de cargas, el trabajo con los brazos elevados o el mantenimiento de posiciones de flexión del tronco. Dependiendo de su diseño, pueden aportar **energía** para asistir al movimiento o proporcionar **apoyo** mediante elementos mecánicos que almacenan energía y redistribuyen las cargas.

Su interés preventivo reside en la posibilidad de **reducir la actividad muscular**, el esfuerzo percibido o determinadas cargas biomecánicas en situaciones concretas. Sin embargo, estos efectos no deben interpretarse automáticamente como una reducción demostrada de las lesiones a largo plazo. Además, la asistencia de una región corporal puede trasladar parte de las exigencias a otras zonas, por lo que es necesario valorar la respuesta del conjunto del cuerpo.

De acuerdo con el INSST, su incorporación debe plantearse después de **estudiar las posibilidades** de eliminar o controlar el riesgo mediante el rediseño del puesto, las ayudas técnicas y las medidas organizativas. El exoesqueleto no elimina por sí mismo el factor de riesgo ni sustituye las demás medidas preventivas necesarias. Su selección debe responder a una tarea específica y considerar las características de la persona y del entorno.

La implantación requiere **pruebas comparativas** con y sin el dispositivo, participación de las personas trabajadoras, formación y un periodo de adaptación. También debe comprobarse que no aparecen molestias por contacto, restricciones de movimiento, problemas de equilibrio o dificultades para realizar tareas auxiliares y evacuar el puesto. El seguimiento posterior permitirá valorar si los beneficios se mantienen durante el trabajo real.

Clasificación de exoesqueletos



Fig. 1. Clasificación de exoesqueletos (Fuente: INSST, NTP 1162, 2021)

Nos vamos a centrar en las dos primeras formas de clasificación, según forma de funcionamiento y según la parte del cuerpo que recibe la ayuda.

Según forma de funcionamiento o sistema de energía o alimentación

Exoesqueletos activos: cuentan, entre sus componentes, con partes móviles accionadas por motores eléctricos o neumáticos, para ayudar en los movimientos que lleva a cabo el usuario, aumentando con ello su capacidad o disminuyendo la fatiga. Muy frecuentemente son utilizados como ayuda en el manejo manual de cargas.

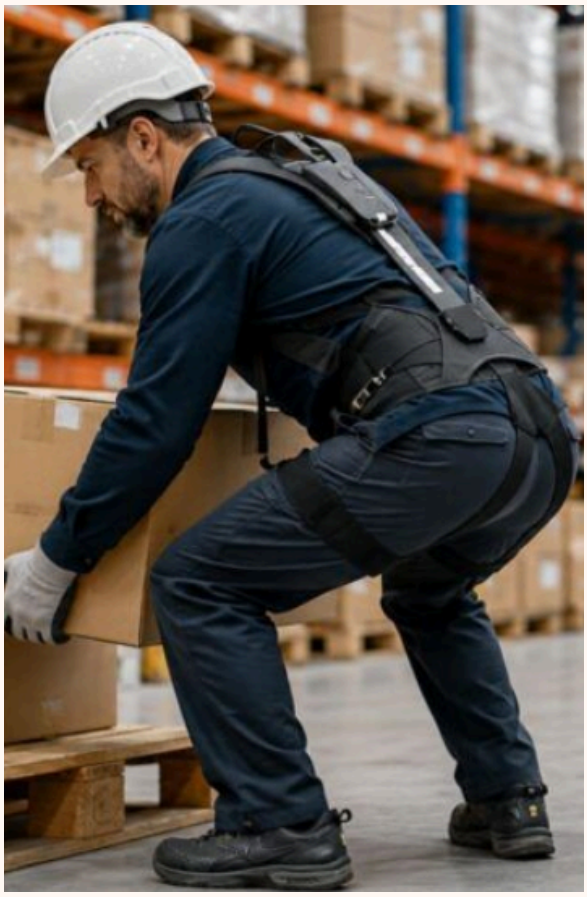
El uso de estos dispositivos supone una reducción de la carga física, pero de momento son equipos muy pesados, siendo este factor una de sus limitaciones, y haciendo necesario que, en ocasiones, haga falta un apoyo añadido del dispositivo al suelo.



Exoesqueleto activo

Exoesqueletos pasivos: no cuentan con aporte externo de energía que mueva partes del equipo. Por el contrario, utilizan la energía generada por el movimiento del propio usuario que, almacenada y repartida, servirá para reajustar la carga física soportada por diferentes segmentos corporales.

Los exoesqueletos pasivos son actualmente los más implantados en el entorno laboral, ya que su diseño ligero y sencillo permite compensar el esfuerzo sin necesidad de energía externa.
Su eficacia depende de una adecuada selección, ajuste e integración en el puesto de trabajo, así como de la formación del personal que los utiliza.



Exoesqueleto pasivo



Exoesqueleto híbrido

Exoesqueletos híbridos: la NTP 1162 menciona la posibilidad de combinar mecanismos pasivos y elementos activos para optimizar la asistencia según la tarea.

Según la parte del cuerpo que asisten

Cuerpo entero: ofrecen soporte simultáneo a la parte superior e inferior del cuerpo. Combinan el apoyo a distintas regiones corporales. En el ámbito laboral, su utilización puede plantearse para tareas que requieren asistencia conjunta de varias zonas del cuerpo, como determinadas operaciones de manipulación de materiales.

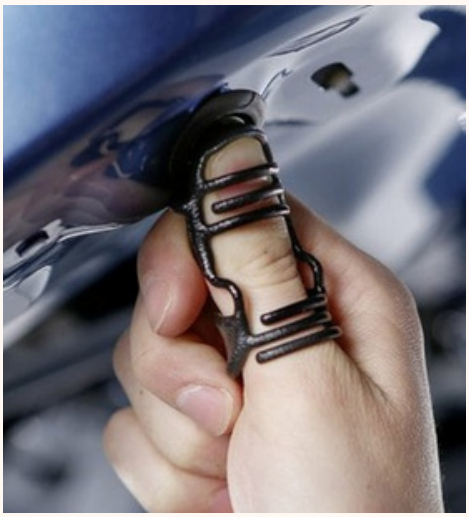


Espalda: reparten el peso de la parte superior del tronco hacia el pecho y las piernas, descargando la zona lumbar.



Tren superior: ayudan a soportar el peso de herramientas y brazos, en especial cuando se trabaja con estos, elevados por encima de los hombros redistribuyendo las fuerzas ejercidas derivándolas hacia la cadera o las piernas. También los hay específicos para las manos y dedos proporcionando soporte adicional o facilitando el agarre de objetos, mejorando la precisión y reduciendo la fatiga.





Tren inferior: mejoran el desempeño de las piernas o permiten un apoyo continuado durante el desarrollo de la tarea, permiten mantener posturas semisentadas, transfiriendo el peso al suelo y reduciendo la tensión sobre el sistema musculoesquelético.



Selección de exoesqueletos

Los resultados de la **evaluación de riesgos ergonómicos** ayudarán a la selección del exoesqueleto más adecuado para el puesto de trabajo. Esta evaluación, como ya hemos visto en apartados anteriores, nos va a ofrecer información sobre **la naturaleza de los factores de riesgo** que se pretende reducir y las zonas corporales que requieren asistencia.

No todos los exoesqueletos son adecuados para todas las tareas o exigencias físicas; su selección requiere un análisis previo antes de introducirlos en condiciones reales de trabajo.

Es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El exoesqueleto **no elimina necesariamente el factor de riesgo** generado o presente en la tarea.
- El exoesqueleto **no sustituye otras medidas preventivas** que requiera el puesto de trabajo.
- Está **diseñado para un uso determinado**, debiendo ser estudiada cada tarea concreta en que se implante.

El proceso de selección e implantación del exoesqueleto debe estar planificado. El INSST en su NTP 1163 propone la siguiente secuencia.

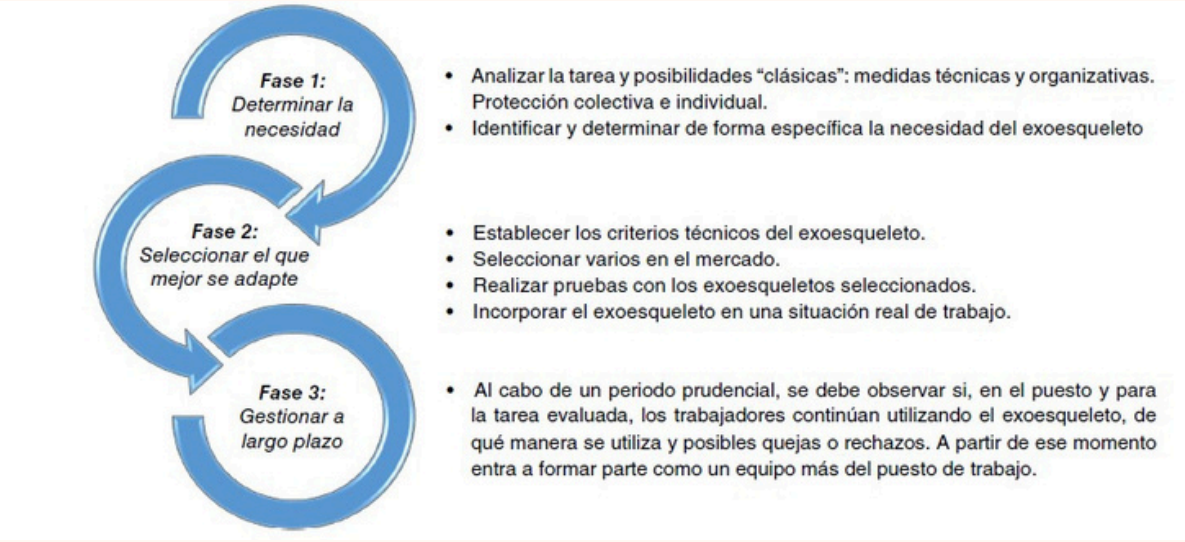


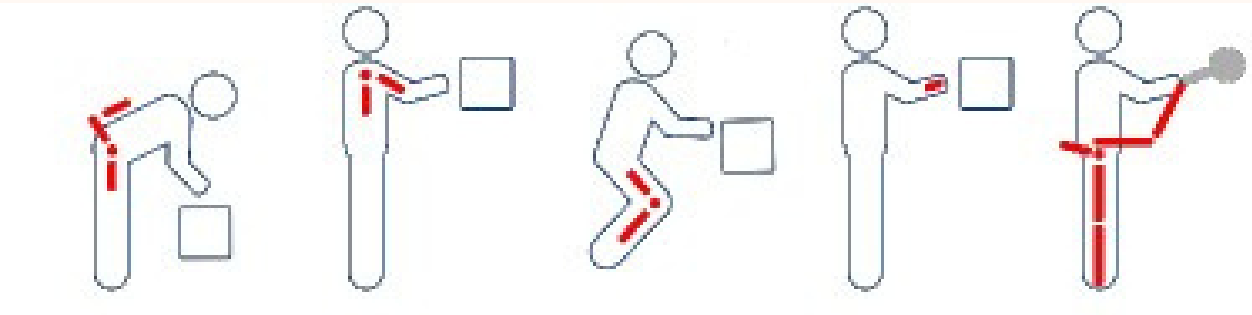
Fig. 2. Propuesta de fases para la selección e implantación de los exoesqueletos (Fuente: INSST, NTP 1163, 2021)

Fase 1. Determinar la necesidad de utilizar un exoesqueleto

En primer lugar, debe analizarse si la incorporación de un exoesqueleto es una solución adecuada para el problema, tras valorar otras medidas técnicas y organizativas.

El primer paso es conocer las características que se le deben exigir al exoesqueleto. Para ello hay que considerar:

- Determinar qué zona corporal es necesario asistir.



- Definir otras características de la tarea que determinan la necesidad de un exoesqueleto, como la altura del trabajo, el peso de la herramienta que hay que manejar, el peso de la carga a manipular, el tiempo requerido de la acción, frecuencia, pausas, desplazamientos...
- Estudiar aspectos básicos que debe cumplir el exoesqueleto relacionados con su usabilidad, confort, ligereza, adaptabilidad, facilidad de ajuste, etc.
- Analizar posibles impactos en la seguridad, la producción, la calidad de los productos y el entorno.

Una vez analizadas estas cuestiones se deben determinar qué tipo de exoesqueleto seleccionar.

Fase 2. Seleccionar el exoesqueleto que mejor se adapte

La selección del exoesqueleto empieza con la búsqueda en el mercado de aquellos que aporten soluciones a la situación crítica: por ejemplo, asistencia de brazos en tareas con elevación, manipulación de cargas o asistencia de agarre. Conviene comparar distintos modelos y valorar la interacción entre la persona y el exoesqueleto mediante los siguientes criterios:

- **Adaptabilidad:** adaptación a la tarea, libertad de movimientos y tiempo de utilización.
- **Utilidad:** grado en que cumple con lo esperado.
- **Usabilidad:** facilidad de empleo, colocación y ajuste.
- **Seguridad y salud:** se evalúan los riesgos laborales que el nuevo equipo puede producir.

La aceptación por parte de quién los vaya a emplear puede ser clave, pues si un exoesqueleto aun cumpliendo todas las características necesarias no es aceptado por parte de los usuarios, la implantación no será eficaz.

Tras comparar los modelos seleccionados, conviene realizar pruebas en condiciones representativas y valorar su adaptación a distintas personas usuarias. La actividad debe analizarse con y sin exoesqueleto para comparar los resultados.

Se recomienda una incorporación progresiva, con tiempos de uso ajustados al equipo, a la tarea y a los resultados de las pruebas.

La aceptación debe acompañarse de una mejora preventiva comprobada y de la ausencia de riesgos nuevos no controlados.

Fase 3: gestionar a largo plazo

Evaluar periódicamente la adecuación del equipo y comparar con la situación inicial sus efectos sobre la salud, las molestias, las incidencias y las condiciones de trabajo». Valorar responsables, frecuencia de revisión y criterios de modificación o retirada.

Posibles efectos negativos y limitaciones en su implantación

Colocar una estructura externa como un exoesqueleto en el cuerpo del trabajador puede tener **efectos fisiológicos** negativos que se deben tener en cuenta:

- El peso añadido puede aumentar las exigencias cardiovasculares.
- Deben valorarse la redistribución de cargas y los posibles efectos de un uso prolongado, cuya evidencia depende del dispositivo y de la tarea.
- La presión de las correas o cinturones en las zonas de contacto puede producir molestias y, en determinadas condiciones, reducir la circulación local.
- Irritación cutánea por fricción, sudoración o reacciones a los materiales.

Se recomienda **establecer criterios** para interrumpir una prueba si aparecen dolor, entumecimiento, rozaduras o problemas de seguridad.



ROBOTS COLABORATIVOS (COBOTS)

Los robots colaborativos, también denominados **cobots**, son robots concebidos para participar en aplicaciones en las que existe interacción con las personas.

Pueden asumir operaciones repetitivas o físicamente exigentes y complementar las capacidades humanas durante un proceso de trabajo. Su interés ergonómico reside en distribuir las tareas de manera que disminuyan las exigencias perjudiciales para la persona, manteniendo una actividad adecuada y significativa.

La colaboración **depende del conjunto de la aplicación:** robot, herramientas, piezas manipuladas, espacio, sistema de control y organización del trabajo. Por tanto, la denominación «colaborativo» no garantiza por sí sola que cualquier operación pueda realizarse de forma segura junto a una persona. La integración requiere evaluar las condiciones concretas de utilización y establecer las medidas de protección correspondientes.

Estos equipos pueden incorporar sensores de posición, fuerza o par y, cuando la aplicación lo requiere, sistemas de visión artificial. Conviene distinguir los dispositivos destinados a controlar el proceso de aquellos que desempeñan funciones de seguridad: una cámara que reconoce piezas no garantiza, por esa sola capacidad, la protección de las personas.

Aunque algunos modelos ofrecen interfaces y procedimientos de programación simplificados, su puesta en servicio exige una integración adecuada. La facilidad de manejo debe acompañarse de formación sobre operación, ajustes, incidencias y mantenimiento.

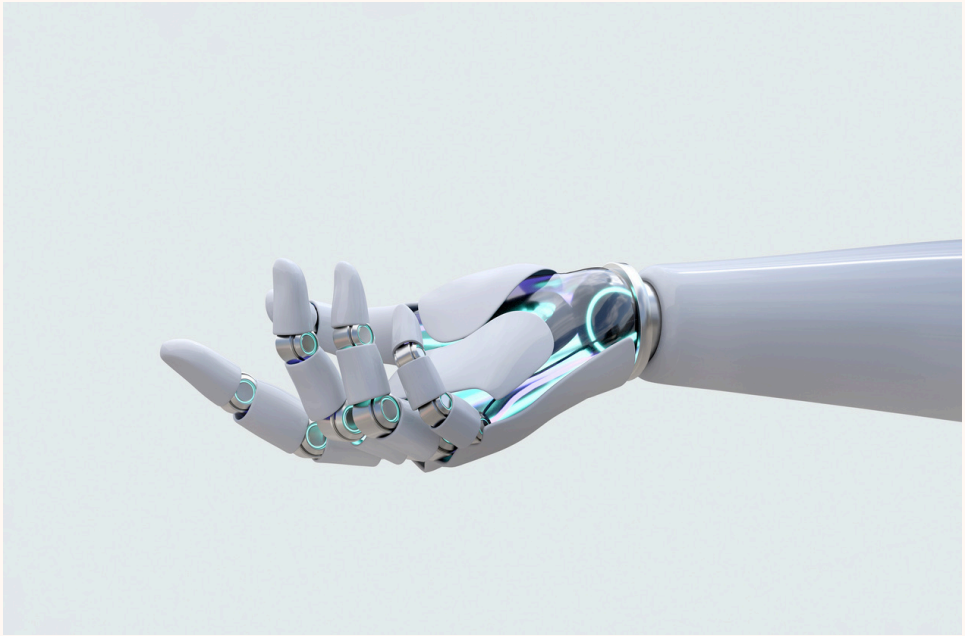
Contribución a la prevención de riesgos ergonómicos

La incorporación de cobots puede contribuir a **reducir el esfuerzo físico** y la exposición a tareas repetitivas o posturas desfavorables. Sin embargo, el beneficio depende del diseño del puesto y de las tareas que permanecen a cargo de la persona. Automatizar una operación no garantiza que mejore el conjunto de la actividad.

Desde una perspectiva preventiva, el rediseño del puesto debería orientarse a:

- **Reducir** los levantamientos, transportes y sostenimientos manuales de cargas.
- **Disminuir** la frecuencia de acciones que requieren fuerza o movimientos repetidos.
- **Evitar** alcances alejados, flexiones y giros del tronco o elevaciones prolongadas de los brazos.
- **Facilitar** alturas y posiciones de trabajo adaptadas a las personas.
- **Mantener** ritmos y tiempos de recuperación compatibles con las exigencias físicas y mentales.

Estos objetivos deben valorarse conjuntamente, ya que la exposición depende de la fuerza, la postura, la frecuencia, la duración y la recuperación, además de las características de la carga y del entorno.



Principales diferencias con robots industriales tradicionales

Los robots colaborativos presentan **diferencias** respecto a los robots industriales tradicionales. La tabla comparativa permite resumir sus características, teniendo en cuenta que la configuración final depende de la aplicación y de su evaluación de riesgos.

Dimensión	Robot colaborativo (Cobot)	Robot industrial tradicional
Seguridad	Limitación de fuerza incorporada; funciona junto a los humanos	Requiere jaulas o barreras de seguridad.
Programación	Interfaz de arrastrar y enseñar; interfaces sin código	Normalmente requiere programación especializada
Tiempo de implementación	Horas a días	Semanas a meses
Footprint	Compacto; opciones de montaje flexibles	Grande; instalación fija
Velocidad	Hasta 4 m/s (últimos modelos)	Normalmente entre 6 y 10 m/s
Rango de carga útil	3 kg hasta 30 kg	5 kg a 2,000+ kg
Costo de inversión	Menor inversión inicial; retorno de la inversión más rápido.	Mayor inversión inicial; mayor plazo de recuperación.
Mejor ajuste	Flujos de trabajo mixtos humano-robot; PYMES; producción flexible	Producción de alto volumen, en línea fija y de servicio pesado.

Medidas de seguridad en las aplicaciones colaborativas

La guía del INSST de 2024 describe cuatro métodos básicos que pueden combinarse:

Parada supervisada de seguridad: detiene el movimiento del robot para permitir el acceso de una persona al espacio de trabajo colaborativo y supervisa que permanezca detenido mientras esta se encuentre en él.

Supervisión de velocidad y distancia de separación: mantiene una distancia de protección entre la persona y el robot. Según la configuración, puede reducir la velocidad, modificar la trayectoria o detener el movimiento para evitar el contacto.

Limitación de potencia y fuerza: combinas características de diseño y funciones de seguridad para limitar las fuerzas y presiones de un posible contacto, considerando la región corporal afectada y el tipo de contacto.

Guiado manual: permite que la persona controle directamente el movimiento del robot mediante un dispositivo de guiado, con las funciones de seguridad correspondientes. Puede utilizarse para asistir determinadas operaciones; no se limita a enseñar trayectorias durante la programación.



Aplicaciones y objetivos ergonómicos

Los siguientes ejemplos muestran posibles aplicaciones y criterios para orientar su diseño.

Paletizado y despaletizado: levantan cajas y colocan productos en los palets, lo que reduce levantamientos, flexiones y alcances.



A**tornillado y ensamblaje:** realizan miles de atornillados con un par de apriete exacto y constante, lo que disminuye acciones de muñeca y esfuerzos asociados a herramientas.



Soldadura y dispensado: aplican soldadura ligera, pegamentos, siliconas o masillas con alta precisión, lo que reduce el sostenimiento de herramientas y las posturas mantenidas.



Alimentación de máquinas: introducen y extraen piezas, lo que disminuye manipulaciones y alcances al interior de equipos.



Control de calidad e inspección: integran cámaras de visión artificial para revisar componentes y detectar piezas defectuosas en tiempo real, lo que ayuda a reducir manipulaciones y posiciones incómodas.



CONCLUSIÓN

La ergonomía inteligente debe partir de una pregunta concreta: **qué condiciones del trabajo es necesario cambiar para reducir la exposición y facilitar una actividad segura**. La elección de una tecnología solo tiene sentido cuando responde a ese problema y aporta una mejora que puede comprobarse.

La inteligencia artificial puede apoyar la recogida y el análisis de información; los exoesqueletos pueden asistir determinadas tareas; y los robots colaborativos pueden asumir operaciones exigentes. En todos los casos, sus resultados dependen del **diseño**, de la forma de **integración** y de las **condiciones reales** de uso.

La prioridad debe seguir siendo **eliminar los riesgos y adaptar el trabajo** a las personas. Para ello, es necesario combinar la evaluación técnica con la experiencia de quienes realizan las tareas, ofrecer formación y mantener un seguimiento que permita detectar efectos no previstos.

Antes de ampliar una implantación, conviene **confirmar que la exposición se ha reducido**, que no se han trasladado las exigencias a otras zonas o tareas y que los nuevos riesgos están controlados. Si esas condiciones no se cumplen, la solución debe revisarse. El criterio de éxito es una mejora sostenida de las condiciones de trabajo y de la protección de la salud.



FUENTES CONSULTADAS

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (s. f.). Riesgos ergonómicos [Portal temático]. **Enlace.**

- Larez, F., y Maribao, Y. (2025). Integración de la inteligencia artificial y métodos clásicos para la evaluación de riesgos ergonómicos. e-Revista Multidisciplinaria del Saber, 3, e-RMS07102025. La ergonomía inteligente debe partir de una pregunta concreta: qué condiciones del trabajo es necesario cambiar para reducir la exposición y facilitar una actividad segura**. Enlace.**

- CMU Perceptual Computing Lab. (s. f.). OpenPose: Real-time multi-person keypoint detection library for body, face, hands, and foot estimation [Repositorio de software]. GitHub. **Enlace.**

- Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S.-E., y Sheikh, Y. (2019). OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields [Prepublicación, versión 2; publicación inicial en 2018]. arXiv. **Enlace.**

- DeepLabCut. (s. f.). DeepLabCut [Repositorio de software y documentación]. GitHub. **Enlace.**

- DeepLabCut. (s. f.). DeepLabCut RTMPose human pose estimation demo [Tutorial y cuaderno de demostración]. **Enlace.**

- Google. (s. f.). Pose landmark detection guide [Documentación técnica de MediaPipe Pose Landmarker]. Google AI Edge. **Enlace.**

- Google AI Edge. (s. f.). MediaPipe [Repositorio de software]. GitHub. **Enlace.**

- Poitras, I., Bielmann, M., Campeau-Lecours, A., Mercier, C., Bouyer, L. J., y Roy, J.-S. (2019). Validity of wearable sensors at the shoulder joint: Combining wireless electromyography sensors and inertial measurement units to perform physical workplace assessments. Sensors, 19(8), 1885. **Enlace.**

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2015). Posturas de trabajo: evaluación del riesgo. Documento elaborado por María Félix Villar Fernández. **Enlace.**

- Universitat Politècnica de València, Ergonautas. (s. f.). Métodos para la evaluación ergonómica de puestos de trabajo. **Enlace.**

- Diego-Mas, J. A. (2025). Método RULA para la evaluación ergonómica de la carga postural. Ergonautas, Universitat Politècnica de València. **Enlace**.

- Nogareda Cuixart, S., y Canosa Bravo, M. del M. (1998). Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH (Nota Técnica de Prevención 477). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. **Enlace**.

- Rojas Picazo, A., y Ledesma de Miguel, J. (2003). Movimientos repetitivos: métodos de evaluación. Método OCRA: actualización (Nota Técnica de Prevención 629). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. **Enlace.**

- Ciccarelli, M., Papetti, A., y Germani, M. (2025). Empowering industry 5.0: Automated sensor-based ergonomic risk assessment. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 19, 7731–7753**. Enlace.**

- Peters, M., y Wischniewski, S. (2019). The impact of using exoskeletons on occupational safety and health [Documento de debate]. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)**. Enlace**.

- Telefónica. (2024, 23 de diciembre). ¿Qué es un robot colaborativo o cobot? [Entrada de blog; publicada originalmente el 22 de mayo de 2023]. **Enlace.**

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2023). Nuevas tecnologías, nuevos riesgos laborales. Robots colaborativos: características, riesgos y medidas preventivas [Folleto]. **Enlace.**

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2024). Guía rápida de compra, instalación y puesta en servicio de un robot colaborativo. **Enlace.**

- Universal Robots. (s. f.). Robots de paletizado para automatización de final de línea [Página de aplicaciones]. **Enlace**.

- Pelegrí, J. (2020, 4 de septiembre). Por qué el atornillado es más eficiente con robots colaborativos. Universal Robots. **Enlace**.

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2021). Exoesqueletos I: Definición y clasificación (Nota Técnica de Prevención 1162). **Enlace**.

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2021). Exoesqueletos II: Criterios para la selección e integración en la empresa (Nota Técnica de Prevención 1163). **Enlace**.