



PRÁCTICAS RELACIONADAS CON LA INDUSTRIA 4.0 Y SUS APLICACIONES EN EL ÁMBITO DE LA ERGONOMÍA: ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES DE ROBOTS COLABORATIVOS (COBOTS) Y EXOESQUELETOS

Lucas Corrêa Toniolo ^{1*}

João Alberto Camarotto²

Luiz Antônio Tonin³

Sergio Luis da Silva⁴

Resumen

Debido al cambio constante en los mercados y medios de producción en la actualidad, se ha hecho necesario optimizar las tecnologías y los sistemas para mantenerse al día con esta demanda. Así, empresas tecnológicas de todo el mundo se movilizaron y comenzaron a invertir en nuevas tecnologías, generando un nuevo concepto de producción que se ocupa de la implementación de internet en los servicios y medios de producción actuales, apuntando a mejorar la comunicación entre máquinas, el tiempo de producción, apuntando a la política de mejoras constantes e intermitentes, la virtualización de sistemas, Reducción del ciclo de vida de los productos y del uso de sensores en las máquinas. A medida que las nuevas tecnologías siguen los patrones anteriores, esta nueva era se denomina "Industria 4.0", que se cree que es la 4ª revolución industrial. Junto con esta nueva tendencia, surgieron preguntas sobre la salud de los trabajadores, lo que hace plausible conciliar las tecnologías de la Industria 4.0 y la Ergonomía. Así, el objetivo del presente estudio fue analizar el proceso de implementación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 y sus aplicaciones en el campo de la ergonomía y discutir si estas tecnologías mejoran el proceso productivo dentro de las empresas y contribuyen a mejores condiciones de trabajo en la interacción de estas tecnologías con el trabajo de los operarios, comparación realizada a partir de la revisión de la literatura. **Supuestos metodológicos:** El estudio se basó en los conceptos de cooperación de los sistemas hombre-tarea-máquina contenidos en la ergonomía.

Palabras clave: Industria 4.0; Ergonomía, Factores Humanos; COBOTS; Exoesqueletos.

PRACTICES RELATED TO INDUSTRY 4.0 AND ITS APPLICATIONS IN THE FIELD OF ERGONOMICS: ANALYSIS OF APPLICATIONS OF COLLABORATIVE ROBOTS (COBOTS) AND EXOSKELETONS

Abstract

Due to the constant change in markets and means of production today, it has become necessary to optimize technologies and systems to keep up with this demand. Thus, technology companies

¹ Institución de afiliación (Departamento/Institución). Enlace al ORCID del autor. * Correo electrónico de contacto.

² Institución de afiliación (Departamento/Institución). Enlace al ORCID del autor.

³ Institución de afiliación (Departamento/Institución). Enlace al ORCID del autor.

⁴ Institución de afiliación (Departamento/Institución). Enlace al ORCID del autor.



around the world have mobilized and started investing in new technologies, generating a new production concept that involves implementing the Internet in current services and means of production, aiming at improving communication between machines, production time, aiming at the policy of constant and intermittent improvements, the virtualization of systems, reduction in the life cycle of products and the use of sensors in machines. Since new technologies follow the above standards, this new era is called “Industry 4.0”, which is believed to be the 4th industrial revolution. Along with this new trend, questions about worker health have arisen, making it plausible to reconcile Industry 4.0 technologies and Ergonomics. Thus, the objective of this study was to analyze the process of implementing technologies associated with Industry 4.0 and their applications in the field of ergonomics and to discuss whether these technologies improve the production process within companies and contribute to better working conditions in the interaction of these technologies with the work of operators, a comparison made based on a literature review. Methodological assumptions: The study was based on the concepts of cooperation of man-task-machine systems contained in ergonomics.

Keywords: Industry 4.0; Ergonomics, Human Factors; COBOTs; Exoskeletons.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo aborda las tecnologías asociadas a la Industria 4.0 y sus aplicaciones en el campo de la ergonomía y tiene como objetivo identificar las prácticas relacionadas con la Industria 4.0 y sus aplicaciones y contribuciones en el campo de la ergonomía (en particular en el campo de la Ergonomía Física), contribuyendo a la sistematización del conocimiento sobre estas tecnologías y equipos. El objetivo es discutir qué son estas tecnologías y si están mejorando efectivamente el proceso productivo dentro de las empresas y contribuyendo a mejores condiciones de trabajo. Este es el dilema actual que presenta la literatura, que estudia fenómenos de este tipo relacionados con la Industria 4.0 (HERČKO; ŠTEFÁNIK, 2015; MARKOVÁ et al., 2019)

Desde la primera revolución industrial, el mundo ha demandado cada vez más cambios y adaptaciones a las empresas, organizaciones y a la propia rutina del ser humano. En este caso, los requisitos son las evoluciones y avances tecnológicos en todos los sectores industriales, además del aumento de la competitividad, los cambios en el mercado y la necesidad de nuevas estrategias para adaptarse a ello (MARKOVÁ et al., 2019).

Fue en medio de este entorno que surgió la Industria 4.0, que es un término creado por el ministro alemán de educación e investigación, utilizado para referirse a la 4ª revolución industrial. Esta revolución se refiere a la implementación de internet en los servicios y medios de producción actuales, con el objetivo de mejorar la comunicación entre las máquinas, el tiempo de producción, apuntando a la política de mejoras constantes e intermitentes, la



virtualización de sistemas, la reducción del ciclo de vida de los productos y el uso de sensores en las máquinas (HERČKO; ŠTEFÁNIK, 2015; MARKOVÁ et al., 2019).

La primera revolución industrial fue la era de la mecanización del sistema de producción, la segunda fue la era de la producción en masa, de las líneas de producción que utilizaban electricidad, la tercera fue la era de la automatización y la implementación de las computadoras y la cuarta, se cree, es la era de los sistemas físicos cibernéticos. Una mejor visualización de estas eras se puede observar en la Figura 1 (MARKOVÁ et al., 2019; MIKULIĆ; ŠTEFANIĆ, 2018).

Figura 1 - Síntesis de las revoluciones industriales



Fuente: Roser , 2015

Dentro de las tecnologías de esta nueva revolución industrial, han surgido enfoques ergonómicos que tienen como objetivo conciliar el trabajo de la máquina con el del ser humano, con el fin de hacer que su trabajo sea menos estresante y más productivo. El estrés mencionado anteriormente puede ser tanto físico como mental y es en este punto donde la ergonomía industrial integra conocimientos de ergonomía física, cognitiva y organizacional. Para cada uno de estos ámbitos, existen nuevas propuestas de soluciones aportadas por la industria 4.0 y, asimismo, existen estudios que estudian sus impactos dentro de las empresas, tanto para el trabajador como para la productividad (KADIR; BROBERG, 2020).

En ergonomía física se estudian los efectos del trabajo sobre el sistema musculoesquelético de los trabajadores, a diferencia de la ergonomía cognitiva y organizacional, que estudia las posibilidades de reducir el estrés mental de estos trabajadores (KADIR; BROBERG, 2020), en este sentido, cabe destacar que la ergonomía integra estos dominios y entiende la sobrecarga de trabajo como resultado donde los tres dominios juegan algún papel y se influyen mutuamente.



Dicho esto, cabe destacar que el presente estudio se centra en tecnologías orientadas a la ergonomía física. Entre las nuevas tecnologías en este ámbito, los COBOTS (robots colaborativos) y los Exoesqueletos son, según la revisión bibliográfica que se presentará en este estudio, los más estudiados y que presentan problemas relacionados con su implementación dentro de las organizaciones (BANCES et al., 2020; DE LOOZE et al., 2016; WESSLÉN, 2018).

Así, surgen preguntas importantes como: ¿cuáles son los impactos positivos y negativos de la implementación de estas tecnologías? ¿Cuáles son las dificultades encontradas y los obstáculos para su implementación y uso? ¿Cómo se concilian las soluciones de estas tecnologías con el trabajo de los operadores? ¿Cómo se lleva a cabo el proceso de cooperación para adaptar la productividad y la seguridad en el trabajo?

Para responder a estos interrogantes, se realizó una revisión bibliográfica de los procesos de implementación de dichas tecnologías en Brasil, cuyos resultados serán presentados y discutidos en este trabajo, esta investigación inicial ayudó a levantar información para la generación de estudios de caso que se encuentran en desarrollo y que posteriormente serán publicados en nuevos artículos académicos.

La relevancia del estudio de dichas tecnologías se debe a que existen vacíos en la literatura, principalmente por ser un tema emergente, lo cual se evidencia en la revisión bibliográfica presentada en este artículo. Además, es importante señalar que estos estudios pueden apoyar a las empresas en el proceso de elección de tecnologías, en la adquisición e implementación, así como en la búsqueda de indicadores que permitan mejorar las condiciones laborales.

2. MÉTODOS

Para responder a las preguntas de investigación presentadas anteriormente, se realizó una revisión bibliográfica que ayudó a formular el problema de investigación e identificar tecnologías relacionadas con la ergonomía en el contexto de la Industria 4.0. La revisión bibliográfica se realizó a partir de la Base de Datos del Portal CAPES (Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior), que reúne revistas de diferentes áreas del conocimiento.

Se utilizaron las siguientes cadenas, a través del campo de búsqueda avanzada: Industria 4.0, Ergonomía, COBOTS, Factores Humanos y Exoesqueletos. Las búsquedas se realizaron



entre el 29/06/2020 y el 15/07/2020 y se seleccionaron los artículos publicados entre 2013 y 2020.

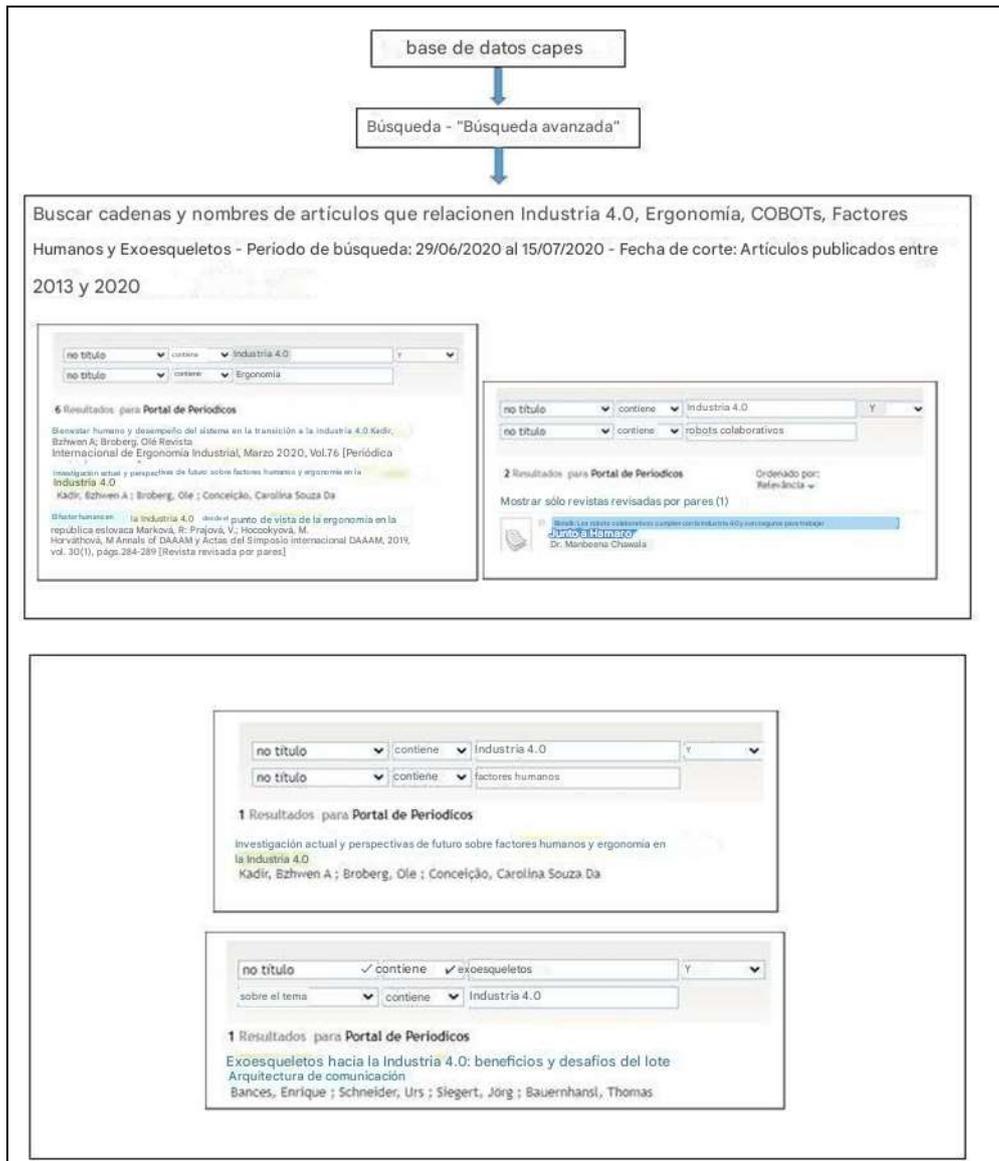
En este primer momento, entre los 10 resultados encontrados con las cadenas "Industria 4.0 y Ergonomía"; "Industria 4.0 y Robots Colaborativos"; "Industria 4.0 y Factores Humanos" e "Industria 4.0 y Exoesqueletos", 6 de ellos marcaron la relación entre Industria 4.0, Ergonomía, COBOTS, Factores Humanos y Exoesqueletos.

Esta búsqueda, en particular la revisión de la literatura, ayudó a definir como foco de investigación las tecnologías: Robots Colaborativos y Exoesqueletos, las cuales fueron identificadas como las principales tecnologías asociadas a la ergonomía.

Luego de una revisión sistemática de la literatura, se realizó una revisión complementaria que aporta (i) información técnica sobre el proceso de estandarización de estas tecnologías y también (ii) una visión de cómo algunos proveedores ofrecen sus tecnologías. El contenido complementario permitió comprender las reglas relacionadas con el tema y la forma en que se difunden estas tecnologías y cómo esto puede influir en las expectativas de las empresas que las compran.

La Figura 2 ilustra el proceso de revisión de la literatura.

Figura 2 – Ilustración del proceso de revisión de la literatura



3. RESULTADOS

A partir de la lectura de los artículos obtenidos en el proceso de revisión sistemática de la literatura presentado anteriormente, fue posible establecer una comprensión de cuáles y cómo las tecnologías de la industria 4.0 se asocian con la ergonomía.

En primer lugar, fue necesario entender, a través de los artículos analizados, qué caracteriza a una tecnología asociada a la Industria 4.0, en este sentido, se entiende que en la Industria 4.0 existen tres pilares, los cuales son: *Internet de las Cosas y Servicios* (IoT e IoS), *Sistemas Ciberfísicos* y *Big Data*, los cuales están conectados entre sí.

Internet de las cosas y los servicios es el término utilizado para referirse a los avances en los sistemas de Internet, que conectan más productos y servicios que el número de personas en la tierra. En este caso, representa el impacto que esta nueva era ha traído al mundo,



interconectando diferentes lugares del mundo a través de diferentes tecnologías que amplían estas posibilidades de conexión (COELHO, 2016).

Los sistemas ciberfísicos son aquellos que interconectan la computación, las redes de comunicación, las computadoras integradas y los procesos físicos, es decir, reemplazan los sistemas de información, que eran computadoras centrales, por un sistema de computación omnipresente, que hace que la información esté disponible en cualquier lugar de acceso.

Big Data, que se refiere a la gran cantidad de datos de estos nuevos sistemas que deben almacenarse en algún lugar, lo que genera desafíos en cuanto al almacenamiento e interpretación de la información generada por ellos. Con ello se intenta delimitar una nueva era tecnológica (COELHO, 2016).

Llevando la discusión al mundo del trabajo, Kagermann (2013) cree que la industria 4.0 cambiará drásticamente el contenido del trabajo, los procesos, la organización y los entornos en las fábricas del futuro. Como consecuencia de esto, habrá un aumento en la carga de trabajo para todos los miembros corporativos en términos de resolución de problemas, abstracción, complejidad de gestión y sobrecargas físicas.

Así, con los cambios que propone la Industria 4.0, también han surgido preocupaciones sobre los trabajadores y cómo se adaptarán a estos cambios drásticos. Por lo tanto, con el auge de los nuevos medios de producción, llegaron las tecnologías colaborativas guiadas por sistemas inalámbricos que intentan trabajar en cooperación con los seres humanos, priorizando la seguridad del trabajador, su bienestar y la mejora de la interacción física del hombre con su entorno laboral, es decir, los factores ergonómicos (KAGERMANN, 2013); ESBEN H. et al., 2016).

La literatura, así como la Asociación Internacional de Ergonomía y Factores Humanos, divide estos factores ergonómicos en tres tipos, que son: Factores Físicos, Cognitivos y Ergonómicos Organizacionales y en cada una de estas áreas existen nuevas tecnologías, traídas por la Industria 4.0, que son probadas para tratar de demostrar su efectividad, tanto en la productividad como en la salud del trabajador.

En este contexto, centrándose en el dominio de la ergonomía física, Kadir y Broberg (2020) demuestran que entre las diversas tecnologías que se están estudiando en este nicho, hay dos de ellas que son el principal foco de investigación, que son los robots colaborativos (COBOTS) y los exoesqueletos (KADIR; BROBERG, 2020).



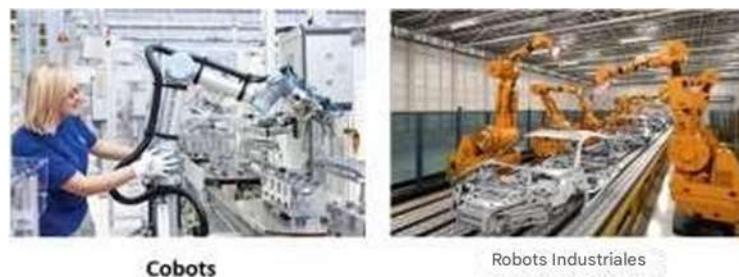
3.1. Robots colaborativos (COBOTS)

Cuando hablamos de COBOTS, se trata de un intento de conciliar el trabajo del ser humano con la máquina de una manera segura, ya que viene con el propósito de servir como herramienta para el trabajador y al mismo tiempo aumentar su productividad, sin generar estrés físico ni mental (ESBEN H. et al., 2016).

La principal diferencia entre los COBOTS y los robots industriales convencionales es que los COBOTS son supuestamente más seguros y permiten la interacción directa con los humanos, cooperando con sus tareas, mientras que los robots industriales convencionales requieren segregación de espacio y por razones de seguridad no pueden compartir espacio con humanos.

La figura 3 ilustra esta diferencia.

Figura 3 – Comparación entre COBOTS y Robots Industriales



Fuente: Image Cobots: <https://elcoindustria.com.br/cobots-robos-colaborativos-linha-producao/>, consultado en septiembre de 2020. **Fuente:** Image Industrial Robots: <http://reparocompensa.blogspot.com/2019/01/ranking-dos-14-maiores-fabricantes.html>, consultado en septiembre de 2020.

3.2. Exoesqueletos

Los exoesqueletos, por su parte, que son trajes que incluyen una estructura mecánica (compuesta o no por actuadores), surgen como un intento de reducir los cambios musculoesqueléticos generados por el trabajo repetitivo y las posiciones ergonómicamente desfavorables para el trabajador (BANCES et al., 2020).

Según De Looze et al. (2015) y Wesslén (2018), existen dos tipos de exoesqueletos: los que son pasivos y no utilizan ningún tipo de actuador para realizar movimientos, utilizando únicamente materiales para soportar una postura, o los que son activos y sostienen posturas con la fuerza de los actuadores.



Figura 4 – Comparación entre la ejecución del trabajo de exoesqueleto pasivo y activo



Fuente: Exoesqueleto pasivo Imagen:

<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,em-fabrica-da-fiat-operarios-e-exoskeletons,70002150839> , consultado en septiembre de 2020.

3.3. Resultados del análisis de los materiales normativos sobre Tecnologías

Luego de identificar las tecnologías asociadas a la Ergonomía en el contexto de la Industria 4.0, se realizó una revisión complementaria, en un primer momento se buscó entender los estándares asociados a estas tecnologías y las regulaciones impuestas por los gobiernos o asociaciones de normas técnicas al uso de estas tecnologías, en este contexto, se encontraron varias normas sobre Robots Colaborativos, sin embargo, no se identificaron normas sobre el uso de Exoesqueletos.

Las medidas de seguridad necesarias en el diseño y construcción de máquinas se derivan de las disposiciones legales. Para las máquinas vendidas en la comunidad europea, generalmente se aplica la directiva de máquinas 2006/42/EC y en entornos industriales en territorio brasileño, se aplica la NR-12. Ambos describen los requisitos para el diseño y la construcción de máquinas seguras. Además de estos, la norma ISO 12100 ayuda en este proceso. El objetivo principal de esta norma es proporcionar a los diseñadores un marco general y orientación para la toma de decisiones durante el desarrollo de máquinas que les permitan diseñar máquinas que sean seguras para su uso previsto.

El concepto de seguridad de las máquinas considera la capacidad de una máquina para realizar sus funciones previstas durante su ciclo de vida, donde el riesgo se ha reducido adecuadamente.

Esta Norma Internacional es la base de un conjunto de normas que tiene la siguiente estructura:



- Normas de tipo A (normas básicas de seguridad), que proporcionan conceptos básicos, principios de diseño y características generales que se pueden aplicar a la maquinaria
- Las normas de tipo B (normas de seguridad genéricas) se ocupan de la seguridad o de un tipo de protección que se puede utilizar en una amplia gama de máquinas:
 - Las normas de tipo B1 abordan características de seguridad específicas (por ejemplo, distancias de seguridad, temperatura de la superficie, ruido)
 - Normas de tipo B2 sobre salvaguardias (por ejemplo, controles bimanuales, dispositivos de enclavamiento, dispositivos sensibles a la presión, protectores)
- Normas de tipo C (normas de seguridad de máquinas) que abordan los requisitos de seguridad detallados para una máquina o grupo de máquinas en particular. Dentro de esta norma se aplican las normas ISO 10218-1 e ISO 10218-2, y la ISO 15066 las complementa

En este contexto, la **norma ISO 10218-1 Robots** : proporciona orientación para garantizar la seguridad en el diseño y la construcción del robot. Dado que la seguridad en la aplicación de robots industriales está influenciada por el diseño y la aplicación de la integración del sistema robótico particular.

ISO 10218-2 Sistemas e integración de robots : proporciona directrices para la protección del personal durante la integración, instalación, pruebas funcionales, programación, operación, mantenimiento y reparación de robots.

Por último, específicamente sobre los robots colaborativos, la **norma ISO 15066:2016 Collaborative Robot Operation** proporciona orientación para el funcionamiento del Robot Colaborativo, que es un sistema que integra el Robot y el trabajador en el mismo espacio de trabajo. En este tipo de operaciones, la integridad del sistema de control relacionado con la seguridad es de gran importancia, especialmente cuando se controlan parámetros del proceso como la velocidad y la fuerza. Por lo tanto, se requiere una evaluación de riesgos integral para evaluar no solo el sistema del robot en sí, sino también el entorno en el que se encuentra, es decir, el lugar de trabajo. En Brasil, con carácter definitivo y obligatorio, el diseño y la construcción de maquinaria y equipos deben seguir los requisitos de la Norma Regulatoria NR-



12. Esta norma y sus anexos definen referencias técnicas, principios fundamentales y medidas de protección para salvaguardar la salud e integridad física de los trabajadores y establece requisitos mínimos para la prevención de accidentes y enfermedades profesionales en las fases de diseño y uso de maquinaria y equipo, así como su fabricación, importación, comercialización, exhibición y cesión en cualquier capacidad. La NR 12 prescribe que los sistemas robóticos que cumplan con las prescripciones de la ABNT ISO 10218-1, ABNT ISO 10218-2, ISO/TS 15066 y otras normas técnicas oficiales o, en ausencia u omisión de estas, en las normas internacionales aplicables, cumplen con los requisitos de seguridad previstos en esta NR, por lo tanto, en Brasil, COBOTS debe seguir estas normas ISO para cumplir con la legislación nacional.

Después de revisar los estándares, se observaron los sitios web y los materiales promocionales de algunos fabricantes para comprender cómo se difunden dichas tecnologías y compararlos con los resultados identificados en la literatura.

3.4. Resultados del análisis de los materiales informativos de los Fabricantes y Proveedores de las Tecnologías

Se analizaron los materiales informativos puestos a disposición por tres fabricantes de cada tipo de equipo, y se decidió omitir los nombres de las empresas en este artículo. Como era de esperar, los fabricantes destacan muchos beneficios obtenidos en el uso de estos equipos y confirman las asociaciones de la literatura con la Industria 4.0 y con aspectos relacionados con la ergonomía física.

i. COBOTs

Fabricante A : el fabricante describe su producto como revolucionario y aporta un enfoque modular y móvil al ensamblaje en la planta de producción, lo que proporciona una confrontación con la alta complejidad provocada por el aumento de la variedad de productos y la integración continua de nuevos procesos en la producción. Estas características tienen como objetivo aumentar la producción, la calidad y los beneficios de ahorro de costos, además de proporcionar una reducción de la carga física sobre el trabajador. En el sitio web del fabricante hay informes de casos exitosos en la implementación en grandes empresas de todo el mundo.

Fabricante B : el fabricante promociona su producto vendiendo la idea de una tecnología que contribuye a un entorno de trabajo más seguro, operando en entornos que los



humanos no pueden, como tareas que son peligrosas o monótonas para el trabajador, como el ensamblaje de máquinas, el ensamblaje de placas de circuitos, el procesamiento de metales, el moldeo por inyección, el embalaje, etc. carga y descarga, así como pruebas e inspecciones. Además, proporciona un entorno de trabajo más silencioso y menos estresante, en comparación con el entorno de los robots industriales. El producto también tiene un diseño "fácil de usar", lo que, según el fabricante B, facilita que los trabajadores acepten la tecnología.

Fabricante C : el fabricante dice que sus robots colaborativos de la serie X ofrecen más opciones, más carga útil, más alcance y más velocidad que cualquier otra serie de COBOT en el mercado. Además, aseguran la certificación de seguridad, proporcionando COBOTs que trabajan codo a codo con los humanos, agregando valor a los procesos involucrados con la tecnología. El proveedor C asegura que la adquisición de tecnologías es la solución para pequeñas y grandes empresas, proporcionando una instalación rápida, fácil de usar y alta confiabilidad.

ii. EXOESQUELETOS

Fabricante A – Este fabricante proporciona un exoesqueleto industrial de extremidad superior (MMSS), pasivo y que tiene como objetivo reducir los esfuerzos en la realización de actividades que requieren el complejo hombro, brazo y espalda, buscando optimizar la productividad y reducir la carga física. Afirman que su producto es altamente tecnológico, pero aún así

Está dotado de una extrema sencillez de manejo y vestido, con tiempos de 30 segundos para su colocación. Su producción es íntegramente brasileña, por lo que el costo y el mantenimiento de los equipos son más económicos en comparación con los productos importados, soportando hasta 600 mil ciclos, simulando el uso en un ambiente de 24 horas x 7 días, con 3 turnos durante 1 año sin mantenimiento. Entre las características del equipo, se destaca su peso, la reducción de fuerza sobre los brazos que permite el equipo, libertad de movimiento para hombros y brazos, existen versiones conectadas (IoT) para monitorear el uso y mantenimiento de equipos y monitorear los datos del usuario (ángulo del brazo, horas de uso por usuario, contador de horas del equipo).

Se observa que, aunque el fabricante lo asocie a las tecnologías de la industria 4.0, esta es la única característica que se asocia al trípoide identificado sobre la base de las tecnologías 4.0.



Fabricante B : este fabricante proporciona un exoesqueleto industrial pasivo de extremidades superiores (MMSS), que tiene como objetivo convertir al trabajador en el centro del proceso de producción, apuntando así a fábricas más modernas, eficientes y productivas. Afirma que su producto preserva y mejora las capacidades del trabajador al reducir las cargas físicas, como el exceso de carga y las lesiones por esfuerzo repetitivo (RSI). Esta tecnología se ajusta a las diferentes estructuras corporales, proporcionando apoyo diario al trabajador y aportando comodidad, lo que en consecuencia aumenta la calidad, la eficiencia y la consistencia del trabajo repetitivo realizado. La página web del Fabricante B proporciona el folleto de su producto y en él informan de una reducción media del 30% de la fatiga muscular en el movimiento de extensión del hombro, ya que todo el esfuerzo se disipa por los puntos de contacto con el cuerpo y las cajas de par que transforman la energía potencial en par para reducir la carga.

Fabricante C – Este fabricante proporciona un Exoesqueleto Industrial de Extremidades Inferiores (LLM) pasivo y afirma que su producto es la nueva silla sin silla, donde el trabajador puede realizar sus actividades y tareas de forma segura, reduciendo el estrés en la columna lumbar de quienes las realizan. El producto permite un cambio rápido, fácil y flexible entre las posturas de sentado, de pie y de caminar, lo que no crea obstáculos en la ejecución de las tareas de los trabajadores. Además, el fabricante garantiza que el Exoesqueleto permite la sustitución de sillas con este versátil mecanismo, permite vestirse en menos de 30 segundos, reduce costes por bajas de los trabajadores y mantiene la productividad, pero de una forma más cómoda. La diferencia entre este fabricante y los demás estudiados es que, en su página web, presentan una propuesta para la implantación de su producto dentro de las empresas que lo adquirieron. De esta manera, propone un proceso de implementación estándar con la asistencia de un equipo especializado, con el fin de entender el funcionamiento y las necesidades de cada cliente.

3.5. Reflexiones finales sobre los resultados

Los resultados demuestran que ambas tecnologías son vistas, en la literatura y en la información de los proveedores, como aportes de la industria 4.0 asociados a aspectos de la ergonomía física, se percibe que existen estándares para los robots colaborativos, sin embargo, aún no se han identificado estándares relacionados con los exoesqueletos y sus aplicaciones. A continuación, se presentarán algunos puntos de discusión y consideraciones finales.

4. DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES



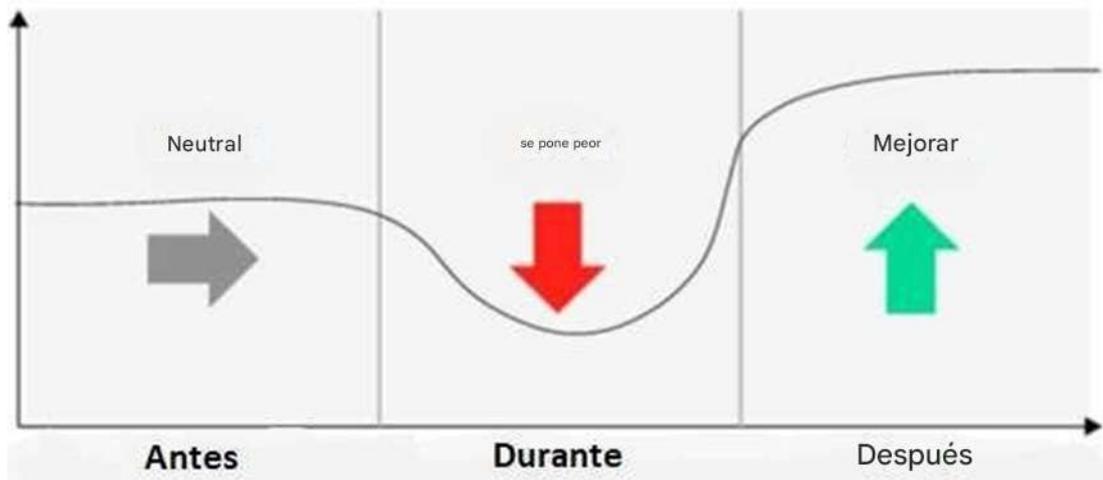
Este artículo abordó las tecnologías asociadas a la Industria 4.0 y sus aplicaciones en el campo de la ergonomía y tuvo como objetivo identificar las prácticas relacionadas con la Industria 4.0 y sus aplicaciones y aportes en el campo de la ergonomía (en particular en el campo de la Ergonomía Física), contribuyendo a la sistematización del conocimiento sobre los COBOTs y Exoesqueletos, estos objetivos fueron desarrollados y presentados como resultados de la revisión de la literatura.

Además, es necesario discutir si están mejorando efectivamente el proceso productivo dentro de las empresas y contribuyendo a mejores condiciones de trabajo.

En este sentido, también se verificó en la literatura estudiada que estas evoluciones tecnológicas, que pretendían traer mejoras ergonómicas, trajeron consigo problemas de implementación, dificultades para adaptar a los trabajadores a la nueva tecnología, la falta de motivación por no tener un estándar en el proceso de implementación, derivado de la falta de estudios de la nueva tecnología, y la aparición de un ambiente de trabajo pesado, con la preocupación constante de los trabajadores por sus puestos de trabajo (KADIR; BROBERG, 2020).

Según el estudio de Kadir y Broberg (2020), se realizaron pruebas de implementación de estas tecnologías en varias empresas de diferentes tamaños y tipos de producción, y esta implementación se dividió en fases "Antes", "Durante" y "Después". Como resultado, resultó difícil de implementar en los períodos "Antes" y "Durante", ya que no se sabía mucho sobre la tecnología (tanto por parte de la empresa como por parte de los empleados), y el protocolo de implementación aún no estaba claro y definido, lo que causaba mucha incertidumbre dentro de las empresas. Esto dio lugar a un ambiente de trabajo inhóspito que resultó ser peor que el período anterior a la tecnología. Después de un cierto tiempo de estudios y una mayor claridad sobre los mismos, los factores beneficiosos salieron a la luz y el ambiente de trabajo recuperó su bienestar, además de mostrar que las nuevas tecnologías estaban siendo beneficiosas en el carácter físico (figura 5).

Figura 5 – Bienestar percibido y rendimiento general del sistema en los períodos antes, durante y después de la implementación de nuevas tecnologías



Una visión general sencilla de cómo cambia el bienestar percibido y el rendimiento general del sistema antes, durante y después de la implementación de nuevas tecnologías digitales

Fuente: Kadir y Broberg, 2020

Sin embargo, aunque en el período "After" se observaron mejoras en el proceso de producción y en el bienestar de los empleados, no se debe generalizar tal conclusión, porque otros factores como la duración del tiempo de implementación, los costos y el mejor tipo de tecnología aún deben estudiarse más profundamente para comparar beneficios y perjuicios, por lo que se debe prestar más atención a estos procesos. para arrojar luz sobre un vacío en la literatura.

Otra discusión importante que surgió de este estudio fue la clasificación de las tecnologías como 4.0, por ejemplo, ¿hasta qué punto un exoesqueleto pasivo es 4.0, dado que muy poco o ninguno de los pilares se aplican en este equipamiento? Se verifica que esta asociación no es meramente comercial y que incluso en la investigación académica se da esta situación, es decir, la reflexión sobre el encuadre real de una tecnología en un contexto no se está llevando a cabo de manera efectiva.

El presente estudio brindó apoyo para la comprensión y sistematización del conocimiento sobre estas tecnologías y servirá de base para nuevos estudios, que pueden involucrar casos de uso reales, donde se aborda a las empresas que han aplicado estas tecnologías y se les invita a reflexionar sobre los puntos positivos y negativos del uso de estos equipos, así como la motivación para su adquisición y satisfacción.



REFERENCIAS

- BANCES, E. et al. Exoskeletons towards industrie 4.0: Benefits and challenges of the IoT communication architecture. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p. 49–56, 2020.
- COELHO, P. M. N. Rumo à Indústria 4.0. **Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra**, p. 65, 2016.
- DE LOOZE, M. P. et al. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. **Ergonomics**, v. 59, n. 5, p. 671–681, 2016.
- HERČKO, J.; ŠTEFÁNIK, A. Komponenty a princípy konceptu Industry 4.0. **ProIN: bimonthly CEIT.-ISSN**, n. May 2015, 2015.
- KADIR, B. A.; BROBERG, O. Human well-being and system performance in the transition to industry 4.0. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 76, n. March, p. 102936, 2020. KAGERMANN. Germany - INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 WG**, n. April, p. 82, 2013.
- MARKOVÁ, P. et al. Human factor in industry 4.0 in point of view ergonomics in slovak republic. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, v. 30, n. 1, p. 284–289, 2019.
- MIKULIĆ, I.; ŠTEFANIĆ, A. The adoption of modern technology specific to industry 4.0 by human factor. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, v. 29, n. 1, p. 941–946, 2018.
- WESSLÉN, J. Exoskeleton Exploration. **Jönköping University, School of Engineering, JTH, Industrial Engineering and Management**, p. 46, 2018.