Exploración sistemática de factores de riesgo Emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en la industria 4.0 y 5.0

Angely Karin Merchán Noriega

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Industrial

Director:

Rodolfo Mosquera Navarro

Doctor en Ingeniería-Industria y Organizaciones

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Ingeniería Industrial

Bucaramanga

2025

Tabla de contenido

Introducción 10
1 Objetivos 12
2. Metodología 13
2.1 Fase 1. Revisión Sistemática de Literatura (RSL) y Análisis Bibliométrico 13
2.2 Fase 2. Identificación de Factores de Riesgos Emergentes en SST 13
2.3 Fase 3. Propuesta de Modelo Preventivo para Riesgos Ergonómicos Emergentes 14
2.4 Fase 4. Recopilación y Sistematización de Información 14
3. Resultados 16
3.1. Análisis Bibliométrico: fase 1 16
3.1.1. Comparación 29
3.2 Revisión de la literatura: Fase 2 31
I. Ergonómicos: 31
II. Psicosociales/ cognitivos: 31
III. Tecnológicos / Sistemas socio- técnico: 32
IV. Organizacionales: 32
V. Ambientales / Físicos: 32
VI. Otros: 33
3.3 Modelo Preventivo: fase 3 33
Nombre propuesto: 33
Objetivo: 33
Principios fundamentales: 34
Componentes-Módulos del modelo 34
Implementación (hoja de ruta sugerida) 35
Indicadores de evaluación (ejemplos) 36
Riesgos y consideraciones 36
Ejemplo de paquete de intervención: Puesto ensamblaje humano-robot 36
4 Discusión 38
5 Conclusiones 43
6 Limitaciones del estudio 44
Referencias Bibliográficas 45

Lista de tablas

Tabla 1. Primera ecuación de búsqueda 16
Tabla 2. Segunda ecuación de búsqueda 17
Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión 18

Listado de Figuras

Figura 1. metodología para desarrollo del proyecto 15
Figura 2. Diagrama de metodología prisma..... 20
Figura 3. Publicaciones anuales en Scopus..... 21
Figura 4. Publicaciones anuales en Web of science 22
Figura 5. Publicaciones por país y territorio en Scopus..... 22
Figura 6. Publicaciones por país y territorio en Web of science treemap..... 24
Figura 7. Análisis de la Distribución de Publicaciones por Área temática en Scopus..... 25
Figura 8. Análisis de la Distribución de Publicaciones por Área temática en Web of science..... 26
Figura 9. Palabras claves de los artículos de la ecuación de búsqueda scopus..... 27
Figura 10. Palabras claves de los artículos de la ecuación de búsqueda Web of science 28

Lista de Apéndices

Los apéndices se encuentran en una carpeta anexa:

Apéndice A. Matriz de Revisión Sistemática de la Literatura sobre Factores de riesgos Emergentes en SST en la industria 4.0 y 5.0.

Artículo Publicable Factores de Riesgos Emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en la Industria 4.0 y 5.0.

Resumen: El presente estudio tiene como objetivo caracterizar los factores de riesgo emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en el marco de la Industria 4.0 y 5.0, con énfasis en los de tipo ergonómico y psicosocial. Para ello, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica y un análisis bibliométrico de 50 artículos publicados en bases de datos especializadas (Scopus y Web of Science) entre los años 2019 y 2025, se utilizó la metodología Prisma para aplicar los criterios de inclusión y exclusión.

Los resultados evidencian que la digitalización y automatización de los procesos productivos generan nuevos riesgos ergonómicos asociados al uso de tecnologías avanzadas, así como riesgos psicosociales vinculados a la hiperconectividad, la intensificación del trabajo y la dependencia tecnológica. Además, se propone un modelo preventivo para riesgos ergonómicos emergentes, aplicable a mediano plazo, que contribuye al diseño de entornos laborales más seguros y sostenibles.

En conclusión, la investigación resalta la necesidad de adaptar las estrategias de SST a los cambios derivados de la Industria 4.0 y 5.0, promoviendo una gestión anticipatoria e integral que fortalezca la cultura preventiva en escenarios de transformación digital.

Palabras clave: Riesgos ergonómicos, riesgos psicosociales, seguridad laboral, Industria 4.0, Industria 5.0, riesgos emergentes.

Título: Exploración sistemática de factores de riesgo Emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en la industria 4.0 y 5.0

Autor: Angely Karin Merchán Noriega

Descripción: Este proyecto tiene como objetivo caracterizar los factores de riesgo emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en el contexto de la Industria 4.0 y 5.0, con especial énfasis en los riesgos de tipo ergonómico y psicosocial documentados en la literatura científica. La investigación busca aportar una visión integral sobre los retos que enfrentan los entornos laborales en procesos de transformación digital y transición hacia modelos productivos más humanizados.

Metodológicamente, el estudio se estructura en tres fases: una revisión sistemática de la literatura, orientada a identificar las tendencias y hallazgos relevantes en torno a riesgos emergentes; un análisis bibliométrico, que permite examinar la producción científica, redes de colaboración y líneas de investigación predominantes; y finalmente, la propuesta de un modelo preventivo, diseñado para mitigar riesgos ergonómicos emergentes en el mediano plazo. Estos procesos se consolidan en un artículo científico de carácter publicable, que integra la síntesis de resultados y su discusión académica.

Los principales aportes de este proyecto se orientan a la comprensión y gestión de riesgos laborales en entornos altamente digitalizados, proporcionando bases conceptuales y metodológicas para el fortalecimiento de estrategias preventivas en la Industria 4.0 y 5.0. Asimismo, se destaca la pertinencia de incorporar un enfoque anticipatorio que facilite la adaptación de la SST a los desafíos emergentes de la era tecnológica y humana.

Abstract: The aim of this study is to characterize emerging risk factors in Occupational Safety and Health (OSH) in the context of Industry 4.0 and 5.0, with an emphasis on ergonomic and psychosocial factors. To this end, a systematic review of the scientific literature and a

bibliometric analysis of 50 articles published in specialized databases (Scopus and Web of Science) between 2018 and 2024 were carried out, using the Prisma methodology to apply the inclusion and exclusion criteria.

The results show that the digitization and automation of production processes generate new ergonomic risks associated with the use of advanced technologies, as well as psychosocial risks linked to hyperconnectivity, work intensification, and technological dependence. In addition, a preventive model for emerging ergonomic risks is proposed, applicable in the medium term, which contributes to the design of safer and more sustainable work environments.

In conclusion, the research highlights the need to adapt OSH strategies to the changes brought about by Industry 4.0 and 5.0, promoting anticipatory and comprehensive management that strengthens the culture of prevention in scenarios of digital transformation.

Title: Systematic exploration of emerging risk factors in occupational safety and health (OSH) in Industry 4.0 and 5.0 Systematic exploration of emerging risk factors in occupational safety and health (OSH) in Industry 4.0 and 5.0

Keywords: *Ergonomic risks*, *psychosocial risks*, *occupational safety*, *Industry 4.0*, *Industry 5.0*, *emerging risks*,

Description: This project aims to characterize emerging risk factors in Occupational Safety and Health (OSH) in the context of Industry 4.0 and 5.0, with a special emphasis on ergonomic and psychosocial risks documented in scientific literature. The research seeks to provide a comprehensive view of the challenges faced by work environments undergoing digital transformation and transitioning to more humanized production models.

Methodologically, the study is structured in three phases: a systematic review of the literature, aimed at identifying relevant trends and findings regarding emerging risks; a bibliometric analysis, which allows for the examination of scientific production, collaboration networks, and predominant lines of research; and finally, the proposal of a preventive model, designed to mitigate emerging ergonomic risks in the medium term. These processes are consolidated in a publishable scientific article, which integrates the synthesis of results and their academic discussion. The main contributions of this project are aimed at understanding and managing occupational risks in highly digitized environments, providing conceptual and methodological bases for strengthening preventive strategies in Industry 4.0 and 5.0. Likewise, it highlights the relevance of incorporating an anticipatory approach that facilitates the adaptation of OSH to the emerging challenges of the technological era.

Introducción

A lo largo de la historia, cada revolución industrial ha transformado profundamente la forma en que trabajamos, producimos y nos relacionamos con nuestro entorno laboral. Hoy vivimos un momento decisivo: la Industria 4.0, impulsada por tecnologías como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT), la robótica colaborativa, los sistemas ciberfísicos y el análisis masivo de datos, está redefiniendo la manera en que las personas y las máquinas interactúan (Kagermann et al., 2013; Lee et al., 2015) A su vez, la Industria 5.0 da un paso más allá, proponiendo un enfoque humanocéntrico, sostenible y resiliente, en el que la innovación tecnológica no solo busca ser más eficiente, sino también más cercana a las necesidades y bienestar de las personas (Breque et al., 2021).

Este cambio no es menor. Los nuevos entornos laborales se caracterizan por la conexión constante, la automatización inteligente y la colaboración estrecha entre humanos y sistemas digitales. Estas condiciones ofrecen oportunidades únicas para mejorar la productividad, la calidad y la personalización de los procesos. Sin embargo, también generan retos inéditos para la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), ya que introducen factores de riesgo que no estaban contemplados en los modelos de prevención tradicionales (EU-OSHA, 2022).

En este nuevo escenario, los riesgos ergonómicos se manifiestan en la interacción prolongada con interfaces avanzadas, el control de sistemas automatizados o la supervisión de procesos complejos, que pueden afectar la postura, la visión y la concentración (Davis et al., 2021). Paralelamente, los riesgos psicosociales cobran fuerza: la sobrecarga cognitiva, la presión por mantener altos niveles de rendimiento, la hiperconectividad y la difusa frontera entre vida laboral y personal son algunos de los desafíos que enfrentan las y los trabajadores (Eurofound & EU-OSHA, 2021).

Ante esta realidad, las revisiones sistemáticas se presentan como una herramienta clave para reunir,

analizar y comprender el conocimiento existente. Permiten identificar tendencias, reconocer brechas y orientar la toma de decisiones hacia entornos laborales más seguros, saludables y alineados con el enfoque humanocéntrico que plantea la Industria 5.0 (Page et al., 2021). El presente estudio tiene como objetivo general caracterizar los factores de riesgo emergentes en SST en la Industria 4.0 y 5.0 documentados en la literatura científica, y como objetivos específicos:

1. Analizar la bibliografía relacionada con factores de riesgo laborales de tipo ergonómico y psicosocial emergentes en la Industria 4.0 y 5.0.

2. Realizar un análisis bibliométrico de la literatura existente en el área.

3. Proponer un modelo preventivo para el factor de riesgo ergonómico emergente en la Industria 4.0 y 5.0 a mediano plazo.

En definitiva, este trabajo busca aportar una mirada integral que combine la innovación tecnológica con la protección y el cuidado de quienes forman parte esencial de cualquier proceso productivo: las personas. Porque una industria verdaderamente avanzada no solo se mide por su capacidad de producir más rápido o con mayor precisión, sino también por su compromiso con la salud, la seguridad y el bienestar de quienes la hacen posible (European Commission, 2021; Nahavandi, 2019).

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Caracterizar los factores de riesgo emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo en la industria 4.0 y 5.0 documentados en la literatura científica.

1.2 Objetivos Específicos

● Analizar la bibliografía relacionada con factores de riesgo laborales de tipo ergonómicos y psicosociales emergentes en la industria 4.0 y 5.0.

● Realizar un análisis bibliométrico sobre la literatura existente, referente a factores de riesgo laborales de tipo ergonómicos y psicosociales emergentes en la industria 4.0 y 5.0.

● Proponer un modelo para prevenir el factor de riesgo ergonómico emergente en la industria 4.0 y 5.0 a mediano plazo.

● Recopilar toda la información en un documento tipo artículo de carácter publicable donde se documenten los resultados obtenidos en la investigación.

2. Metodología

La metodología de esta investigación se divide en varias fases, describiendo los procedimientos para la obtención, análisis e interpretación de datos. Estas fases se presentan de manera esquemática en la **Figura 1** que resume la ruta metodológica empleada para el desarrollo del proyecto.

2.1 Fase 1. Revisión Sistemática de Literatura (RSL) y Análisis Bibliométrico

La primera fase del proyecto consistió en la realización de una *revisión sistemática de la literatura* (RSL) sobre los factores de riesgo emergentes en *Seguridad y Salud en el Trabajo* (SST) en las industrias 4.0 y 5.0, con énfasis en los riesgos *ergonómicos* y *psicosociales*. Esta revisión se centró en identificar los estudios relevantes publicados entre 2019 y 2025 en las bases de datos *Scopus* y *Web of science.*

El proceso de revisión consistió en realizar búsquedas avanzadas en *Scopus y Web of science*, utilizando palabras clave como *ergonomic risks*, *psychosocial risks*, *occupational safety*, *Industry 4.0*, *Industry 5.0*, *emerging risks*, y combinaciones de estas y aplicando los criterios de inclusión y de exclusión convenientes. Además, se realizó un análisis bibliométrico con herramientas como *VOSviewer* para examinar las tendencias en la literatura y proporcionar una visualización de la cocitación, redes de colaboración entre autores, y las áreas de investigación más destacadas.

2.2 Fase 2. Identificación de Factores de Riesgos Emergentes en SST

En esta etapa, los resultados obtenidos de la revisión de la literatura y el análisis bibliométrico se utilizarán para identificar los factores de riesgo emergentes en SST dentro de la

Industria 4.0 y 5.0. La atención estará centrada en los riesgos *ergonómicos* y *psicosociales*, y se procederá a:

- **Clasificar los factores de riesgo**: En categorías como físicos, psicológicos, organizacionales, etc.
- **Identificar las interacciones entre estos factores**: Evaluar cómo los avances tecnológicos pueden modificar o amplificar ciertos riesgos tradicionales de SST.

Los resultados de esta fase incluirán una lista detallada de los factores de riesgo emergentes documentados en la literatura y su relevancia en los contextos de la industria avanzada.

2.3 Fase 3. Propuesta de Modelo Preventivo para Riesgos Ergonómicos Emergentes

A partir de los factores de riesgo ergonómicos emergentes identificados, se desarrollará un modelo preventivo que abarque estrategias para mitigar dichos riesgos a medida que la industria 4.0 y 5.0 continúan evolucionando. Este modelo incluirá:

- **Recomendaciones basadas en la literatura**: Para la integración de estrategias preventivas y correctivas en los procesos productivos de la industria.
- **Tecnologías emergentes para la prevención**: Como el uso de sensores, inteligencia artificial, y automatización para monitorear condiciones laborales en tiempo real.

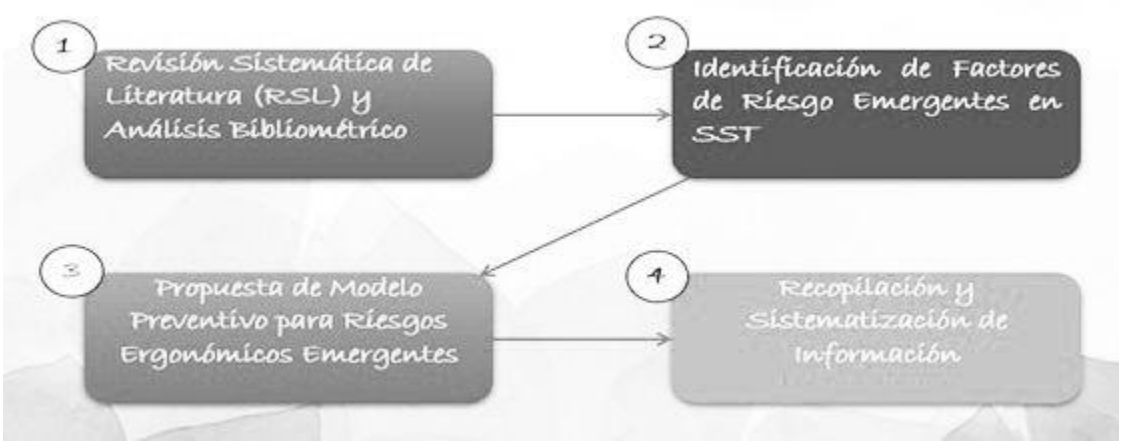
El modelo estará enfocado en proporcionar herramientas prácticas para la gestión de los riesgos ergonómicos, con una perspectiva de mediano plazo para su implementación.

2.4 Fase 4. Recopilación y Sistematización de Información

La fase final del proyecto consistirá en recopilar los datos obtenidos de la revisión de literatura, análisis bibliométrico, y el modelo preventivo desarrollado. Toda esta información se sistematizará en un documento académico, con el objetivo de producir un artículo científico publicable que incluya:

- Los hallazgos clave sobre los factores de riesgo emergentes en SST.
- El análisis bibliométrico con las tendencias y áreas de investigación más relevantes.
- La propuesta del modelo preventivo basado en los riesgos ergonómicos emergentes.

Figura 1. *metodología para desarrollo del proyecto*



3. Resultados

3.1. Análisis Bibliométrico: fase 1

Para la presente investigación, se seleccionó Scopus y Web of science como las principales bases de datos para la búsqueda y recopilación de información. Las dos bases de datos ofrecen una cobertura extensa y multidisciplinaria, incluyendo artículos científicos, actas de conferencias y otras fuentes académicas de alta calidad. Además de su amplio alcance, estas destacan por su capacidad para ofrecer herramientas avanzadas de búsqueda y análisis. Estas funcionalidades permiten no solo identificar publicaciones relevantes en áreas como Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), sino también organizar y filtrar los resultados por criterios como año de publicación, tipo de documento, temática, y más. Esto facilita un enfoque preciso y sistemático en la recolección de datos sobre los factores de riesgo emergentes en la industria 4.0 y 5.0, asegurando que la investigación se sustente en literatura académica actualizada y relevante.

A partir de las palabras clave obtenidas en la revisión preliminar de la literatura gris, se llevaron a cabo varias búsquedas iterativas en la base de datos Scopus y Web of Science. Este proceso de refinamiento permitió optimizar los términos y criterios de búsqueda, culminando en la definición de la siguiente ecuación de búsqueda

Tabla 1. *Primera ecuación de búsqueda*

Bases de Datos	***Ecuación de búsqueda***	***Resultados***
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("labor risk" OR "risk factor" OR "emerging risk" OR "potential risk" OR risk) AND ("Occupational Safety and Health" OR osha OR	26
		12

	ergonomics OR psychosocial) AND ("Industry 4.0" OR "Industry 5.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Fifth Industrial Revolution" OR "Intelligent Industry" OR "Industrial Internet of Things" OR "Cloud" OR "Robotic" OR "machine learning" OR cybersecurity OR "artificial intelligence"))

Esta ecuación de búsqueda recupera documentos que contienen los términos especificados en el título, resumen o palabras clave. A partir de la búsqueda en la base de datos con esta ecuación, se obtuvieron inicialmente 1226 resultados.

Tabla 2. *Segunda ecuación de búsqueda*

Bases de Datos	***Ecuación de búsqueda***	***Resultados***
Web of science	("labor risk" OR "risk factor" OR "emerging risk" OR "potential risk" OR risk) AND ("Occupational Safety and Health" OR osha OR ergonomics OR psychosocial) AND ("Industry 4.0" OR "Industry 5.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Fifth Industrial Revolution" OR "Intelligent Industry" OR "Industrial Internet of Things" OR "Cloud" OR "Robotic" OR "machine learning" OR cybersecurity OR "artificial intelligence")	427

A partir de la búsqueda en la base de datos con esta ecuación, se obtuvieron inicialmente 427 resultados. Estos documentos serán analizados en profundidad para identificar los estudios más relevantes sobre los factores de riesgo emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en el contexto de la Industria 4.0 y 5.0. Este proceso de revisión y selección permitirá identificar la literatura más relevante para sustentar el desarrollo de la investigación.

Con motivo de seleccionar los artículos más adecuados para esta revisión sistemática, se tuvo en consideración:

Tabla 3. *Criterios de inclusión y exclusión*

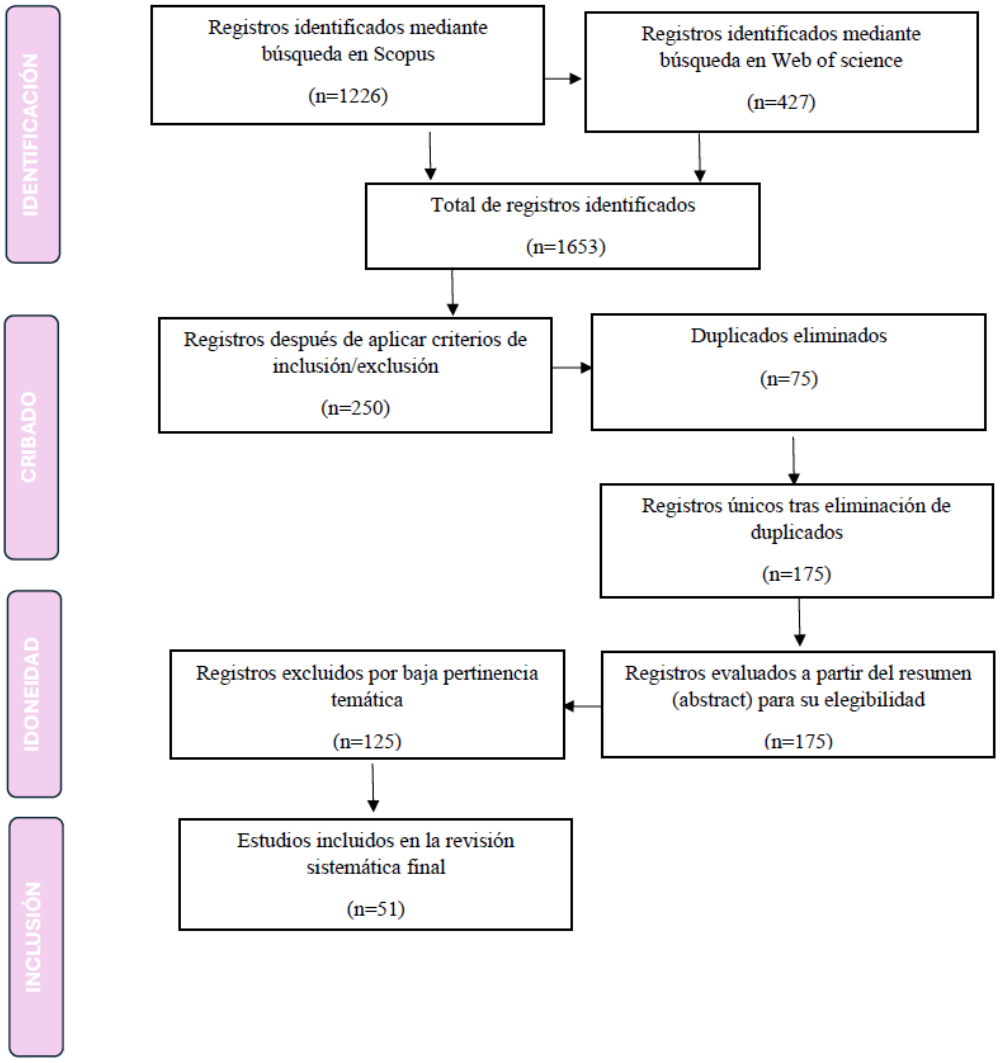
Criterios	Descripción
De Inclusión	• Documentos en base de datos relevantes al tema de la revisión • Ventana de tiempo comprendida entre 2019- 2025 • Documentos en inglés • Tipos de documentos: Artículos • Palabras clave como: Ergonomía, riesgos ocupacionales, evaluación de riesgos, machine learnign, humanos, inteligencia artificial, factores de riesgos, psicología industria 4.0, seguridad y salud en el trabajo, seguridad y salud ocupacional, trabajadores, ingeniería de seguridad, sistema musculoesquelético, biomecánica, enfermedades profesionales, seguridad laboral, salud ocupacional, higiene industrial, evaluación ergonómica, lugar de trabajo, enfermedades musculoesqueléticas, factores humanos,

	aprendizaje profundo, trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, psicología social, máquinas de vectores soporte, accidentes de trabajo, salud mental, salud y seguridad, salud y seguridad ocupacional, fabricación, administraciones de seguridad y salud ocupacional, y fatiga. • Área: Ingeniería, Pública Ambiental Salud ocupacional o Ingeniería Industrial.
De Exclusión	• Documentos que son versiones preliminares o resúmenes y que no han sido reemplazados por versiones completas • Boletines, comunicados de prensa o memorandos
De Calidad	• Artículos que, aunque cumplen con los términos de búsqueda, no presentan una relación directa con el tema central de la investigación.

Con la ecuación de búsqueda de la **Tabla 1.** Primera ecuación de búsqueda, se obtienen 1653 artículos de las dos bases de datos, a los cuales se les procede a aplicar los criterios de inclusión y exclusión obteniendo finalmente 250 artículos para la investigación (82 de Web of science y 168 de Scopus).

Una vez obtenidos los resultados de la ecuación de búsqueda se procedió, según la metodología Prisma (ver en la **Figura 2**) a la evaluación de la pertinencia de los estudios recuperados en relación con el tema de investigación.

Figura 2. *Diagrama de metodología prisma*

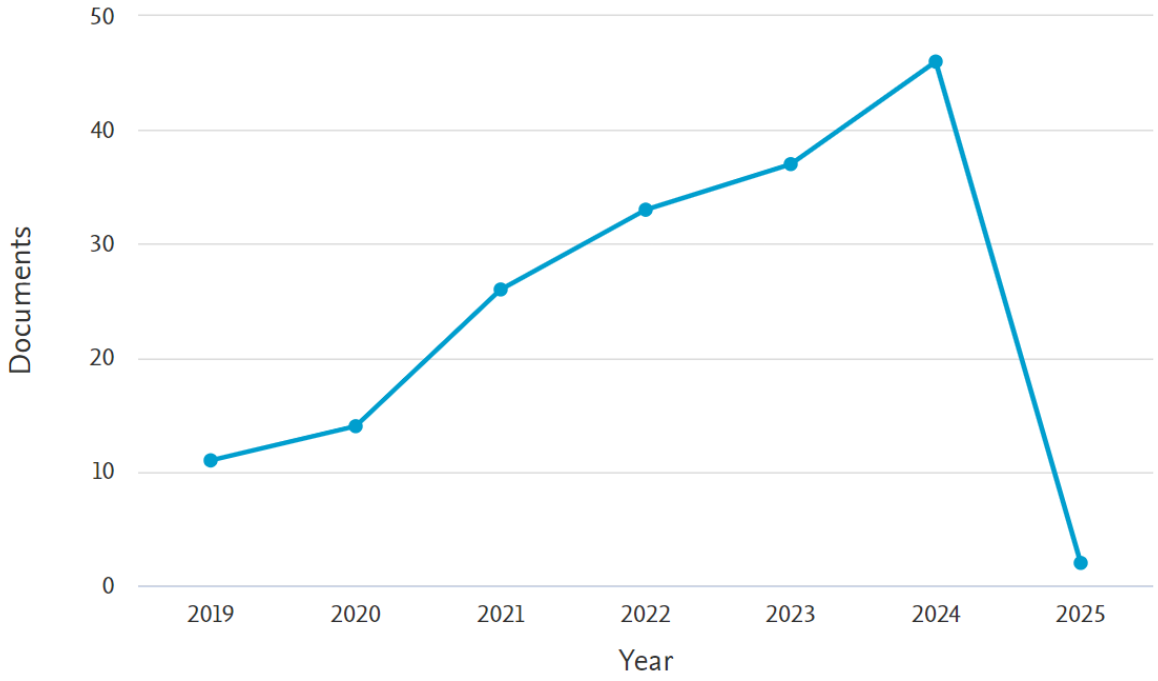


El proceso investigativo se realizó con ayuda de las dos bases de datos. Teniendo en cuenta la ecuación de búsqueda formulada, se llevó a cabo el análisis bibliométrico para los 250 artículos encontrados.

Inicialmente se llevó a cabo el análisis de los resultados obtenidos en Scopus, seguidamente de Web of Science, para finalmente realizar una comparación e interrelación de lo obtenido en las

dos búsquedas. Se analizaron las publicaciones anuales en cada base datos, las publicaciones por país y territorio, la distribución por área temática y finalmente el análisis de coocurrencia de palabras obtenido mediante VOSviewer.

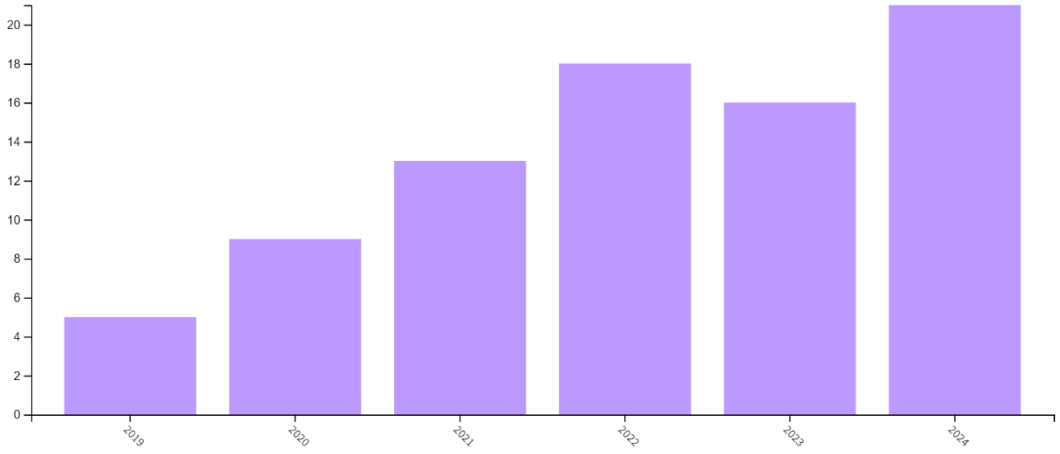
Figura 3. *Publicaciones anuales en Scopus*



La **Figura 3** muestra un crecimiento constante en el número de documentos anuales desde 2019 hasta 2024, alcanzando un máximo de aproximadamente 45 documentos en 2024. Este aumento refleja un creciente interés en la temática abordada, con un incremento notable a partir de 2020. La tendencia ascendente continúa hasta 2024, lo que sugiere que durante ese año la investigación o las publicaciones sobre este tema alcanzaron su punto más alto. Sin embargo, en 2025 se observa una caída drástica en el número de documentos, con casi ninguna publicación registrada. Es probable que esta disminución abrupta no refleje una pérdida de interés, sino que se

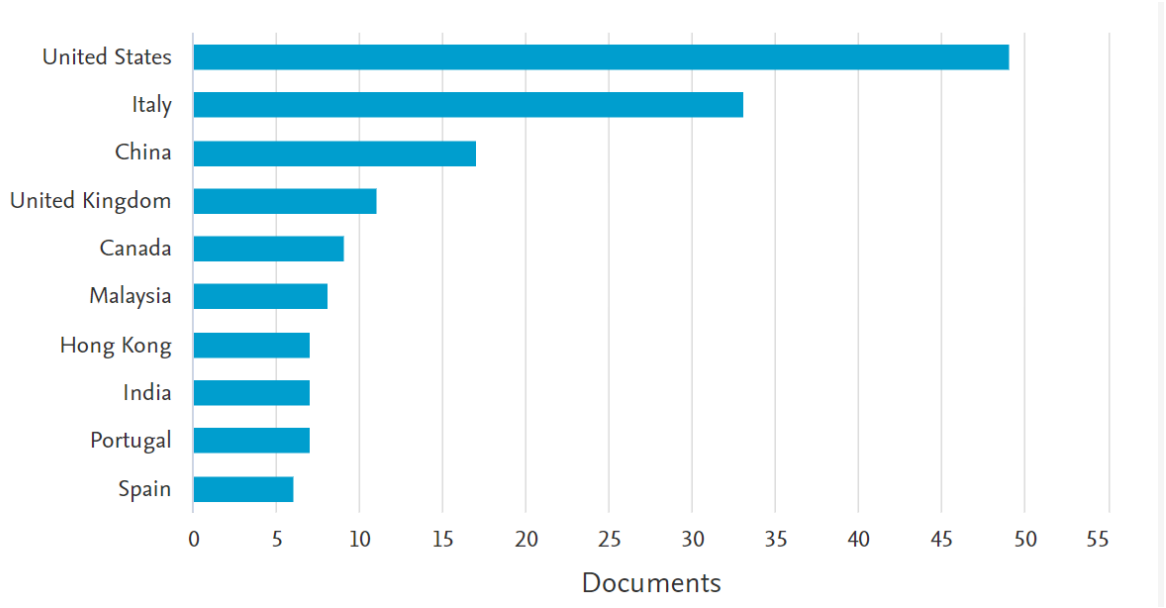
deba a la falta de indexación completa de los datos, ya que se trata de un año futuro en el que los registros de publicaciones aún no están totalmente disponibles.

Figura 4. *Publicaciones anuales en Web of science*



La **Figura 4** refleja un crecimiento constante en la cantidad de documentos publicados en Web of Science sobre esta temática desde 2019 hasta 2024. En 2019, el número de publicaciones era bajo, con aproximadamente 4 documentos, pero a partir de 2020 se ve un aumento significativo, mostrando un interés creciente por el tema. En 2021, el número de publicaciones se incrementa notablemente, superando los 12 documentos, y continúa en ascenso hasta alcanzar casi 18 en 2022. Aunque en 2023 hay una leve caída, las publicaciones siguen siendo considerablemente altas. Finalmente, en 2024 se alcanza el mayor número de documentos en toda la serie, con más de 20 publicaciones, lo que indica un fuerte enfoque en este tema en la comunidad académica y posiblemente un mayor reconocimiento o relevancia en ese año.

Figura 5. *Publicaciones por país y territorio en Scopus*

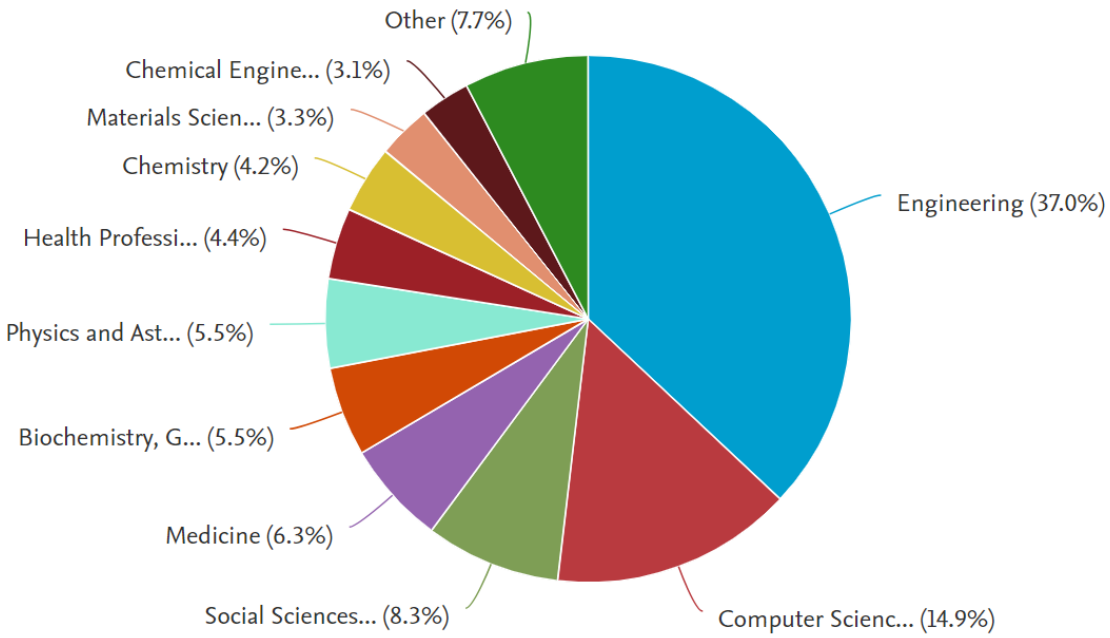


La **Figura 5** refleja que Estados Unidos lidera la producción de documentos en esta temática con cerca de 50 publicaciones, seguido de Italia con aproximadamente 30, lo que demuestra un fuerte enfoque de estos países en la investigación. China ocupa el tercer lugar con alrededor de 20 publicaciones, consolidándose como un actor relevante en la materia. Países como el Reino Unido y Canadá también muestran una contribución significativa, mientras que Malasia, Hong Kong, India, Portugal y España tienen un aporte menor, pero relevante. Este panorama evidencia que, aunque Estados Unidos y Europa (con Italia y el Reino Unido) dominan la producción científica, Asia, liderada por China, está ganando terreno. Esto sugiere un interés global y una creciente diversidad geográfica en las investigaciones sobre la temática.

Figura 6. *Publicaciones por país y territorio en Web of science treemap*

La **Figur** refleja la distribución de publicaciones por país y territorio en Web of Science, donde Canadá y Francia se destacan con el mayor número de publicaciones (5 cada uno), mostrando una fuerte contribución a la investigación en este tema. Australia y Dinamarca siguen de cerca, con una presencia considerable (3 publicaciones cada uno), lo que indica su participación activa en el campo. Brasil, Bélgica e Inglaterra comparten un nivel intermedio de contribuciones (2 publicaciones cada uno), mientras que países como Colombia, Finlandia y Barbados registran solo una publicación cada uno, sugiriendo una participación más limitada. En general, la visualización destaca cómo el liderazgo en investigación acerca de esta temática está concentrado en ciertos países, con una participación más dispersa en otros.

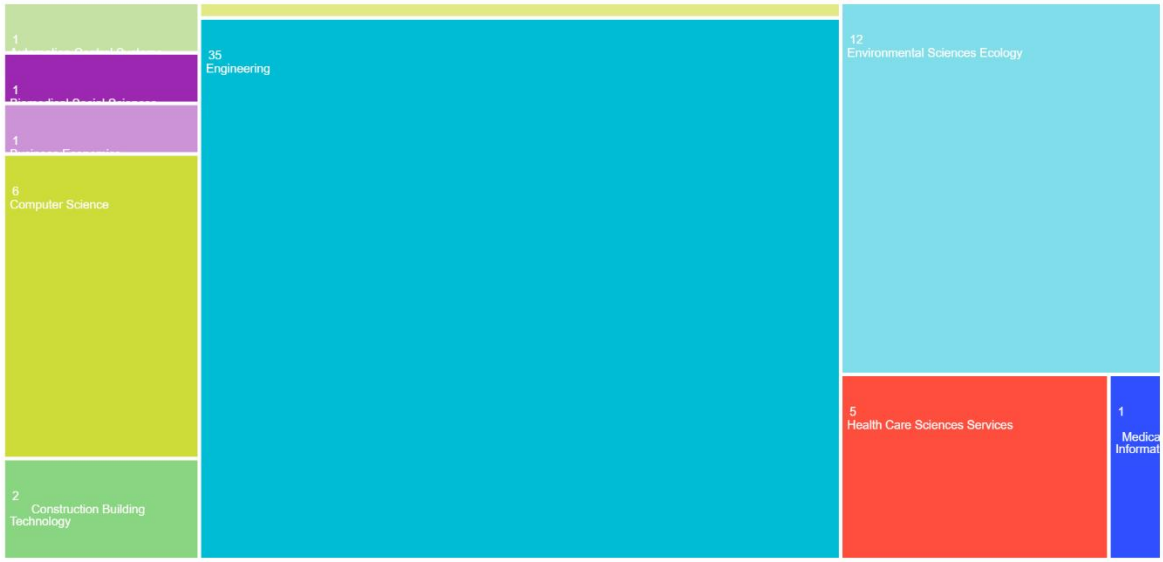
Figura 6. *Análisis de la Distribución de Publicaciones por Área temática en Scopus*



La **Figura 6** de distribución por áreas temáticas de Scopus refleja claramente la importancia de la Ingeniería (37%) y las Ciencias de la Computación (14.9%) en la investigación actual, lo que está alineado con el contexto de la Industria 4.0 y 5.0. Estos avances tecnológicos, como la automatización, la robótica y la inteligencia artificial, no solo impulsan el desarrollo industrial, sino que también plantean nuevos desafíos en términos de riesgos emergentes en SST. Las Ciencias Sociales (8.3%) destacan la creciente preocupación por los factores psicosociales y ergonómicos, ya que los entornos laborales cambian rápidamente con la integración de nuevas tecnologías. Áreas como la Medicina (6.3%) y la Salud (4.4%) refuerzan la idea de que, a medida que los riesgos físicos y mentales evolucionan, la salud ocupacional también debe adaptarse a estos

nuevos escenarios. Esta diversidad de áreas refleja cómo la Industria 4.0 y 5.0 están transformando la investigación, generando una necesidad urgente de comprender y mitigar los riesgos emergentes en SST.

Figura 7. *Análisis de la Distribución de Publicaciones por Área temática en Web of science*

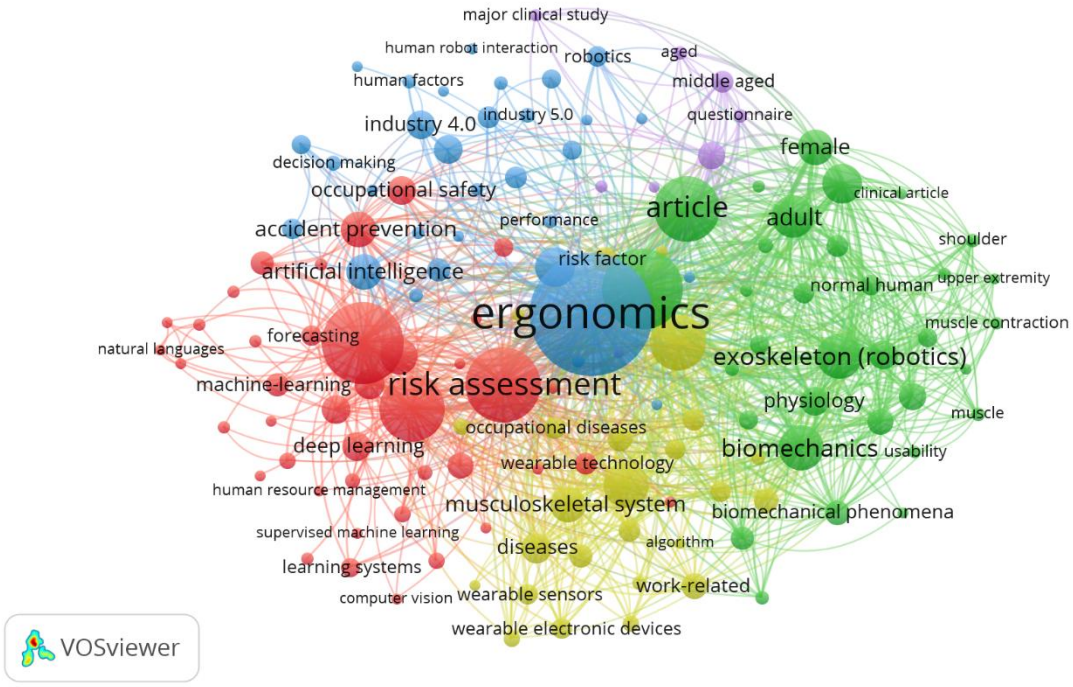


Esta nueva gráfica (**Figura 7**) es otro diagrama de árbol que muestra la distribución de publicaciones por área temática, donde se observa una clara concentración en el campo de la Ingeniería con 35 publicaciones, lo que confirma que esta área es el núcleo principal de la investigación sobre la Industria 4.0 y 5.0, y por ende, de los riesgos emergentes en SST. Le sigue Ciencias Ambientales y Ecología con 12 publicaciones, lo que podría reflejar el interés en los impactos ambientales de estas nuevas tecnologías y la sostenibilidad dentro de los entornos laborales. Ciencias de la Computación tiene 6 publicaciones, destacando la relevancia de los sistemas tecnológicos y de información en la transformación digital de la industria. Áreas como Servicios de Ciencias de la Salud (5 publicaciones) sugieren un enfoque en la salud ocupacional y la gestión de los riesgos a la salud. Otros campos con menor participación incluyen Tecnología de

la Construcción (2 publicaciones) y temas como Ciencias Biomédicas e Informática Médica**,** que cuentan con solo una publicación cada uno. Esto indica que aunque la ingeniería y las ciencias ambientales lideran la investigación, hay un interés emergente en las implicaciones para la salud y la construcción en este nuevo paradigma industrial.

Análisis VOSviewer

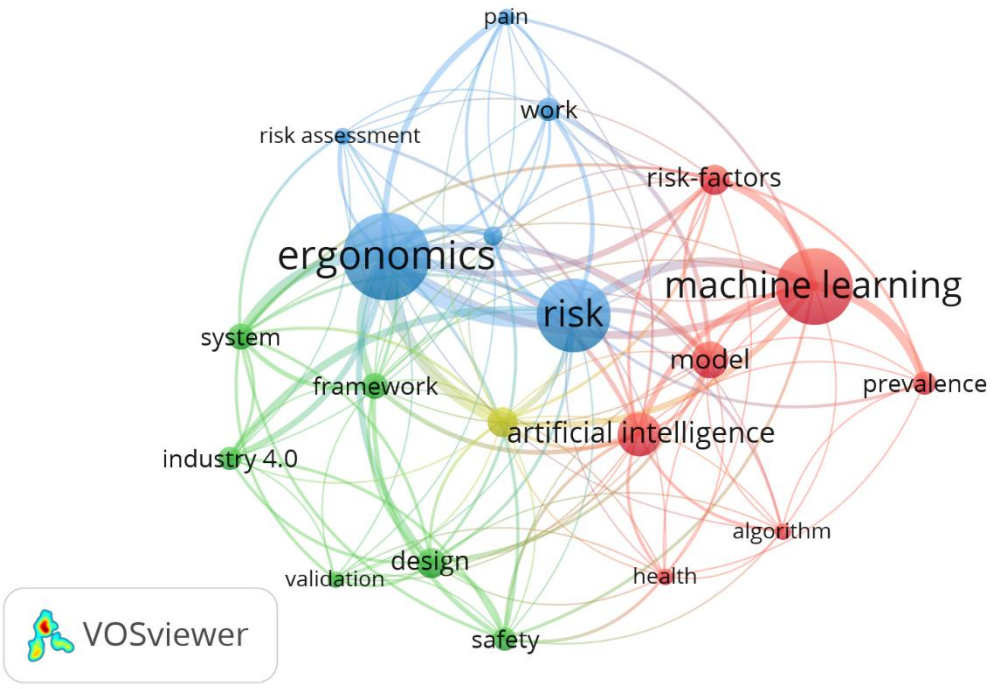
Figura 8. *Palabras claves de los artículos de la ecuación de búsqueda scopus*



Este mapa de co-ocurrencia (ver **Figura 8**) obtenido mediante VOSviewer para los artículos publicados entre 2019 y 2025 en Scopus, refleja cómo se interrelacionan diversos temas clave en el ámbito de la ergonomía y la tecnología avanzada. El cluster verde se centra en biomecánica**,** fisiología y exoesqueletos robóticos, destacando cómo la tecnología mejora la interacción física entre trabajadores y máquinas para prevenir lesiones musculoesqueléticas. El cluster rojo se enfoca

en la evaluación de riesgos**,** inteligencia artificial y machine learning**,** resaltando el uso de estas tecnologías para predecir y gestionar riesgos laborales. El cluster azul abarca la robótica, la interacción humano-robot y la seguridad ocupacional**,** subrayando los desafíos de la automatización y la interacción segura entre humanos y máquinas. Por otro lado, el cluster amarillo aborda factores demográficos y estudios clínicos, como adultos **y** mujeres**,** mostrando el interés en cómo las características de los trabajadores influyen en los estudios ergonómicos. En el centro del mapa, términos generales como ergonomía y evaluación de riesgos destacan la importancia de integrar tecnologías avanzadas para mejorar la seguridad y optimizar las condiciones de trabajo.

Figura 9. *Palabras claves de los artículos de la ecuación de búsqueda Web of science*



Este mapa de co-ocurrencia (ver **Figura 9**) generado desde Web of Science muestra las principales áreas de investigación en torno a los riesgos laborales, la ergonomía y el uso de

tecnologías avanzadas. El cluster azul destaca la relación entre la ergonomía y la evaluación de riesgos, donde los estudios se centran en cómo las condiciones de trabajo afectan la salud física, con énfasis en problemas como el dolor asociado al trabajo. En el cluster verde, los conceptos de Industry 4.0, sistema y diseño reflejan un enfoque en cómo los entornos laborales tecnológicamente avanzados están cambiando, especialmente en la validación de sistemas que mejoran tanto la seguridad como la ergonomía en estos nuevos contextos. Por otro lado, el cluster rojo está dedicado a tecnologías como el machine learning y la inteligencia artificial, que se utilizan para crear modelos predictivos y algoritmos que identifican los factores de riesgo laborales y mejoran la prevención. En conjunto, este mapa refleja una investigación integral que aborda los riesgos ergonómicos, la implementación de sistemas en la Industria 4.0 y el uso de IA para mejorar la seguridad, combinando ergonomía y tecnología para optimizar las condiciones laborales.

3.1.1. Comparación

El análisis bibliométrico de las publicaciones revela patrones interesantes al comparar las bases de datos Scopus y Web of Science en cuatro dimensiones clave: publicaciones por año, por país y territorio, por área temática y co-ocurrencia de palabras clave.

En cuanto a las publicaciones por año, ambas bases muestran un crecimiento sostenido desde 2019 hasta alcanzar su punto máximo en 2024. Sin embargo, Scopus presenta una cantidad significativamente mayor de documentos (alrededor de 45 en 2024), mientras que Web of Science tiene un volumen menor (20 en el mismo año). Esta diferencia puede deberse a la mayor cobertura de Scopus. La caída proyectada para 2025 en Scopus se explica probablemente por la falta de indexación completa de ese año, lo que indica que ambas bases complementan el análisis temporal.

En la distribución geográfica, Scopus muestra a Estados Unidos, Italia y China como los mayores contribuyentes en la investigación sobre la temática, lo que subraya el liderazgo de estos países en la producción científica. Por otro lado, Web of Science destaca a Canadá y Francia como los principales actores, aunque con menos publicaciones que en Scopus. Esto sugiere que Scopus cubre una gama geográfica más diversa, mientras que Web of Science presenta una distribución más concentrada en ciertos países.

En cuanto a las áreas temáticas, ambas bases coinciden en que la ingeniería es el área dominante. Scopus refleja una mayor diversidad temática, con la ingeniería representando el 37% de las publicaciones, seguida por ciencias de la computación y ciencias sociales. En Web of Science, la ingeniería también lidera, pero ciencias ambientales y ecología tienen un peso considerable, mostrando un enfoque mayor en sostenibilidad. Esta diferencia indica que Scopus abarca una mayor variedad de áreas relacionadas con la tecnología y el trabajo, mientras que Web of Science ofrece una visión más concentrada en ingeniería y sostenibilidad.

Finalmente, el análisis de co-ocurrencia de palabras clave revela enfoques complementarios. En Scopus, se destacan temas como la biomecánica, la robótica y la inteligencia artificial, subrayando el papel de las tecnologías avanzadas en la ergonomía y la seguridad laboral. Web of Science también resalta la IA y machine learning, pero se enfoca más en cómo estas tecnologías ayudan a diseñar entornos laborales seguros en la Industria 4.0. Mientras Scopus ofrece una visión más diversificada, Web of Science profundiza en aspectos clave como la evaluación de riesgos y el diseño de sistemas.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede concluir que Scopus ofrece una cobertura más amplia y diversa en términos de cantidad de publicaciones, distribución geográfica y áreas temáticas, mientras que Web of Science presenta un enfoque más especializado y concentrado.

Ambas bases de datos se complementan y son necesarias para obtener una visión completa del desarrollo académico en torno a los riesgos emergentes en SST en la Industria 4.0 y 5.0.

3.2 Revisión de la literatura: Fase 2

En la revisión sistemática de los 50 artículos sobre factores de riesgos emergentes en Seguridad y Salud en el Trabajo asociados a la Industria 4.0 y 5.0 se identificaron y clasificaron de forma estructurada los principales factores emergentes, los cuales se clasificaron en 6 categorías macro:

1. Ergonómicos, 2. Psicosociales/Cognitivos, 3. Tecnológicos/Sociotécnicos, 4. Organizacionales, 5. Ambientales/físicos, 6. Otros.

I. **Ergonómicos:** La categoría ergonómica fue la más recurrente; entre los subfactores más frecuentes se encuentran: *posturas* (mencionada en 35 artículos), *fatiga* (27 artículos), *posturas forzadas* (20), *movimientos repetitivos, dolor lumbar y de hombros* (frecuencias destacadas en la matriz). Los estudios describen estas exposiciones como derivadas de: tareas repetitivas en líneas semi-automatizadas, supervisión continua de interfaces digitales (pantallas HMI), manipulación de cargas en procesos asistidos por robótica y diseños de puestos no adaptados para interacción humano-robot. Estos trabajos se asocian a la exposición prolongada a pantallas y control remoto con alteraciones musculoesqueléticas y mayor incidencia de trastornos musculoesqueléticos.

II. **Psicosociales/ cognitivos:** Los riesgos psicosociales aparecen con relevancia creciente: *sobrecarga cognitiva, estrés, hiperconectividad y dificultad para*

desconectar. Varios estudios señalan que la introducción de sistemas inteligentes, monitoreo continuo y algoritmos de performance pueden generar presión por mantener indicadores y provocar fatiga mental, burnout y también problemas de conciliación y errores operacionales en entornos con alta automatización.

III. **Tecnológicos / Sistemas socio- técnico:** Se identifican riesgos vinculados a la propia tecnología como las interfaces mal diseñadas, las fallas de usabilidad, las alertas excesivas, la dependencia de algoritmos y las vulnerabilidades de ciberseguridad que afectan la percepción de control del trabajador. Aparecen con frecuencia palabras clave como IA, machine learning, sensores loT y robots colaborativos, las cuales se destacan en los artículos como riesgos directos (por ejemplo. Colisiones o fallos) como mediadores del estrés y de la inseguridad psicológica.

IV. **Organizacionales:** Cambios en la organización del trabajo como turnos flexibles, monitorización de productividad, precarización y demandas de nuevas competencias; emergen como factores que modelan la aparición de riesgos ergonómicos y psicosociales. Es decir, la insuficiente formación para operar tecnologías avanzadas y la falta de participación de los trabajadores en el diseño de procesos son factores organizacionales recurrentes.

V. **Ambientales / Físicos:** Aunque menos frecuentes que los anteriores, los riesgos físicos tradicionales (ruido, temperatura, iluminación) se mantienen y, en algunos contextos, se ven modificados por nuevas tecnologías (por ejemplo, mayor exposición térmica por nuevos equipos o vibraciones asociadas a actuadores).

VI. **Otros:** Una fracción de estudios identifica riesgos más específicos (por ejemplo, exposición a datos personales, problemas éticos en IA), los cuales los clasifica estrictamente en las categorías anteriores.

Por lo que se sintetiza en:

-Total de artículos analizados: 50.

-Terminología/indicadores más recurrentes en la matriz: posturas (35 menciones), fatiga (27), forzadas (20), repetitivos (13), estrés (7), dolor lumbar/hombros/musculoesqueléticos (al menos 10 menciones).

-Predomina la evidencia sobre los **riesgos ergonómicos** relacionados con posturas y movimiento repetitivos, seguida por evidencias crecientes sobre **riesgos psicosociales y tecnológicos.**

Los resultados muestran que la transición a escenarios de Industria 4.0/5.0 no elimina los riesgos tradicionales: los amplifica o los transforma, (por ejemplo: la vigilancia digital intensifica la carga mental; la automatización redistribuye la carga física y puede concentrarla en tareas de supervisión o intervención puntual), lo cual sugiere la necesidad de marcos preventivos integrados que contemplen tanto la dimensión física como la psicosocial y la interfaz humano-tecnológica.

3.3 Modelo Preventivo: fase 3

Nombre propuesto: Modelo PRE-HRI (Prevención Ergonomía-Human-Robot-Industry)

Objetivo: Reducir la incidencia y severidad de riesgos ergonómicos emergentes en entornos de Industria 4.0/5.0 mediante un enfoque integrado que combine identificación temprana, rediseño ergonómico asistido por tecnología y acciones organizacionales y formativas.

Principios fundamentales:

- Humanocentrismo: priorizar la salud y el bienestar del trabajador en el diseño de sistemas (alineado con Industria 5.0).
- Prevención basada en evidencia: usar datos (sensores, registros) y resultados de la RSL(revisión sistemática de la literatura) para priorizar intervenciones.
- Sociotécnica: intervenir tanto la tecnología como la organización y la formación.
- Ciclo PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) para mejora continua.

Componentes-Módulos del modelo

Primero: Identificación y valoración integrada

- Herramientas: encuestas ergonómicas, evaluación de tareas, análisis de video, telemetría de sensores (postura/EMG/actividad), y evaluación de carga mental (cuestionarios).
- Salida: mapa de riesgo por puesto/tarea que combina exposición física y carga cognitiva.

Segundo: Monitoreo en tiempo real y predicción

- Implementación de sensores portátiles, cámaras y registros de máquinas conectadas (IoT) para detectar posturas forzadas, repetitividad y pausas insuficientes.
- Uso de modelos de ML (si la organización lo permite) para alertas tempranas y priorización de tareas críticas.

Tercero: Diseño ergonómico asistido

- ✓ Rediseño de puestos de trabajo (altura ajustable, herramientas ergonómicas), adaptación de interfaces HMI (usabilidad), y medidas mecánicas (exoesqueletos pasivos/activos cuando corresponde).
- ✓ Validación participativa con trabajadores (co-diseño).

Cuarto: Intervenciones organizacionales y formativas

- Políticas de pausas activas programadas algorítmicamente.
- Programas de capacitación en uso seguro de tecnologías y en manejo de carga mental.
- Gestión de cambios y participación de trabajadores en implementación.

Quinto: Evaluación y retroalimentación

- ➢ KPIs: tasa de TME reportadas, indicadores de carga postural acumulada, puntajes de estrés/carga mental, cumplimiento de pausas, aceptación de tecnologías.
- ➢ Auditorías periódicas y sesiones de ajuste.

Sexto: Gobernanza y ética

- Protocolos de privacidad para datos biométricos y de desempeño.
- Comité interdisciplinario SST-TI con representación de trabajadores para supervisar uso de IA/sensores.

Implementación (hoja de ruta sugerida)

- o Corto plazo (0–6 meses): diagnóstico (módulo 1), priorización de puestos de riesgo, pilotos sensor + encuestas.
- o Mediano plazo (6–18 meses): desplegar monitoreo en tareas críticas, iniciar intervenciones ergonómicas y formación; medir KPIs iniciales.

- Largo plazo (>18 meses): escalamiento, automatización de pausas/alertas, integración con sistemas de gestión SST y evaluación de impacto.

Indicadores de evaluación (ejemplos)

- Reducción % en puntajes de carga postural acumulada (medida por sensores).
- Disminución % de reportes de dolor musculoesquelético en 12 meses.
- Mejora en puntajes de carga mental / estrés (cuestionarios validados).
- Tasa de adopción/aceptación de soluciones ergonómicas (encuestas).

Riesgos y consideraciones

- Privacidad: definir alcance de recolección de datos y consentimiento.
- Sobrecarga de alertas: evitar alarm fatigue mediante umbrales y ajuste participativo.
- Costo y mantenimiento: valorar coste-beneficio de exoesqueletos o sensores; priorizar tareas de mayor riesgo.
- Formación continua: asegurar reciclaje de competencias digitales y ergonómicas.

Ejemplo de paquete de intervención: Puesto ensamblaje humano-robot

1) Implantar sensores de postura y registro de ciclos (piloto 3 meses).
2) Revisión participativa del puesto: ajuste de alturas, herramientas y distribución.
3) Programar pausas activas automáticas y formación breve sobre posturas seguras.
4) Evaluar impacto trimestralmente y ajustar algoritmos de alerta.

4 Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática muestran un panorama multifacético de riesgos emergentes en SST asociado a la transición hacia la Industria 4.0 y 5.0. A partir de los 50 estudios incluidos en el PRISMA, se identifican con claridad cinco núcleos temáticos que requieren atención prioritaria: riesgos ergonómicos, riesgos psicosociales/cognitivos, riesgos tecnológicos/socio-técnicos, moduladores organizacionales y lagunas sobre riesgos ambientales.

1) Riesgos ergonómicos : persistencia y transformación de la carga física.

La categoría ergonómica aparece como la más recurrente en los estudios revisados. Trabajos empíricos y experimentales muestran que, aunque la automatización cambia la naturaleza de las tareas, la carga musculoesquelética no desaparece, sino que se transforma (p. ej., Dutta & Mahapatra, 2023; Gualtieri et al., 2024; Azadeh et al., 2024; Yoo et al., 2023). Estudios sobre dispositivos portátiles y exoesqueletos documentan reducciones medibles en la flexión y la carga en hombros y espalda, pero subrayan que los beneficios dependen fuertemente del diseño, la correcta adaptación al puesto y la capacitación del trabajador (Yoo et al., 2023; Azadeh et al., 2024). Esto confirma que la solución tecnológica por sí sola no es suficiente: debe integrarse con evaluación ergonómica continua y ajuste de procesos (Dutta & Mahapatra, 2023).

2) Riesgos psicosociales y cognitivos: la digitalización intensifica demandas mentales.

La literatura muestra de forma consistente la aparición de sobrecarga cognitiva, fatiga mental y dificultades para desconectar asociadas a la hiperconectividad y la supervisión de sistemas automatizados (Battini et al., 2022; Luo et al., 2023; Gualtieri et al., 2024). Algunos estudios incluyen análisis de teletrabajo y señalas de burnout que aumentaron tras la incorporación de tecnologías digitales sin acompañamiento organizacional (Luo et al., 2023). No obstante, la

evidencia también indica que estas consecuencias son mediadas por políticas de flexibilidad, apoyo social y recursos organizacionales: donde existen programas de gestión psicosocial y control razonable de horarios, los efectos negativos se atenúan (Martínez-López et al., 2022 en la matriz; Luo et al., 2023). Por tanto, la intervención no puede centrarse solo en hardware o software: requiere medidas psicosociales.

3) Riesgos tecnológicos y socio-técnicos: alarm fatigue, ciberseguridad y desconfianza en algoritmos.

Varios artículos identifican problemas emergentes vinculados a la interacción humano-máquina: alarm fatigue por interfaces que generan señales excesivas, errores de interpretación de alertas, vulnerabilidades de ciberseguridad que afectan la continuidad y la seguridad operacional, y falta de confianza en decisiones algorítmicas (Gualtieri et al., 2024; Cardoso et al., 2024; Silva et al., 2024). Estos temas aparecen con menor frecuencia que los riesgos ergonómicos, pero representan una brecha importante porque la literatura tradicional de Seguridad y Salud en el Trabajo no integra de forma sistemática la ergonomía cognitiva con la ingeniería de sistemas. Los estudios revisados señalan que la ausencia de protocolos de diseño centrado en el usuario y de pruebas de usabilidad incrementa la probabilidad de errores humanos mediados por la tecnología (Cardoso et al., 2024), lo que demanda investigación interdisciplinaria entre ergonomía, ciberseguridad e ingeniería de software.

4) Riesgos organizacionales: la capacitación y la participación como factores moduladores.

Los hallazgos muestran que la forma en que se introduce la tecnología determina en gran medida su impacto en SST. Sin políticas de capacitación continua y participación activa de los

trabajadores en los procesos de implementación, la automatización puede aumentar la precariedad y las brechas de competencias (Luo et al., 2023; Khan et al., 2024). Por el contrario, programas de reskilling alineados con la adopción tecnológica han mostrado disminuir la percepción de inseguridad laboral y mejorar la adaptación al cambio (evidenciado en varios estudios de la matriz). Esto confirma que la capacitación y la gobernanza participativa no son complementos opcionales: son estrategias de prevención primarias frente a la desigualdad y la inseguridad laboral inducidas por la digitalización.

5) Riesgos ambientales y físicos : subrepresentados pero con señales emergentes.

Aunque la mayoría de los estudios se concentran en dimensiones ergonómicas y psicosociales, hay indicios de efectos físicos derivados del nuevo equipamiento, por ejemplo, exposición a vibraciones o a emisiones no ionizantes en entornos con sensores y dispositivos inalámbricos que aún están poco documentados en la literatura (Klein & Weber, 2023 en la matriz). Este vacío sugiere la necesidad de ampliar el espectro de riesgos estudiados en entornos de industria avanzada.

Los hallazgos reunidos por el PRISMA indican que las respuestas fragmentadas (solo ergonomía física, o solo formación, o solo controles técnicos) serán insuficientes frente a la complejidad socio-técnica emergente. El modelo PRE-HRI propuesto en este trabajo aporta valor porque articula: (a) identificación temprana mediante análisis bibliométrico y detección automática; (b) monitoreo continuo con sensores y dashboards que integren métricas físicas y psicosociales; y (c) estrategias organizacionales participativas (capacitación, comités mixtos trabajador-empresa). Estas tres dimensiones responden directamente a los huecos documentados

en la matriz: necesidad de integración ergonomía-cognitiva (para alarm fatigue y usabilidad), protocolos de ciberseguridad y estrategias de reskilling que mitiguen desigualdades (Luo et al., 2023; Cardoso et al., 2024; Khan et al., 2024).

Implicaciones prácticas y recomendaciones de política e investigación:

Diseño centrado en el usuario: incorporar pruebas de usabilidad y ergonomía cognitiva en la etapa de diseño de máquinas e interfaces (Cardoso et al., 2024; Gualtieri et al., 2024).

Monitoreo integrado: combinar métricas ergonómicas (postura, movimientos) con indicadores psicosociales (auto-reportes, saturación de alertas) para detectar riesgos emergentes en tiempo real (Dutta & Mahapatra, 2023; Azadeh et al., 2024).

Capacitación y participación: establecer programas de reskilling vinculados a la implementación tecnológica y mecanismos formales de participación para trabajadores —esto reduce la percepción de inseguridad y mejora la adopción segura (Luo et al., 2023; Khan et al., 2024).

Investigar riesgos socio-técnicos: financiar estudios interdisciplinarios sobre alarm fatigue, confianza algorítmica y ciberseguridad aplicada a SST, áreas que aparecen poco representadas en los artículos revisados (vacío identificado en la matriz, Cardoso et al., 2024).

Evaluación de impacto ambiental: promover investigaciones que analicen efectos físicos emergentes relacionados con sensores y dispositivos (Klein & Weber, 2023).

Limitaciones de la discusión (y cómo se mitigaron):

La discusión se basa en los 50 artículos finales incluidos en el PRISMA y en los datos extraídos en la matriz; sin embargo, existen sesgos geográficos y sectoriales en la literatura (por ejemplo, predominio de estudios en manufactura avanzada y entornos europeos), así como heterogeneidad metodológica entre estudios cuantitativos, experimentales y de caso. Para mitigar esto, la interpretación enfatiza convergencias entre estudios y señala explícitamente discrepancias donde las hubo (por ejemplo, beneficios de exoesqueletos solo en condiciones controladas; ver Yoo et al., 2023; Azadeh et al., 2024).

5 Conclusiones

1. La revisión sistemática permitió caracterizar los principales factores de riesgo emergentes en SST en la Industria 4.0 y 5.0, siendo los más relevantes los riesgos ergonómicos (posturas forzadas, movimientos repetitivos, fatiga física) y los psicosociales/cognitivos (sobrecarga mental, estrés, hiperconectividad).

2. Los riesgos tecnológicos /socio-técnicos representan un ámbito emergente y aún poco explorado, vinculado al diseño de interfaces, la interacción humano-robot y la confianza en algoritmos, lo que plantea nuevos retos para la ergonomía cognitiva.

3. Los riesgos organizacionales y ambientales, aunque menos mencionados, cumplen un papel modulador, influyendo en la forma en que los trabajadores enfrentan la digitalización y automatización.

4. La evidencia muestra que la introducción de tecnologías avanzadas no elimina los riesgos tradicionales, sino que los transforma y, en algunos casos, los amplifica.

5. Se propone el modelo **PRE-HRI**, orientado a la prevención de riesgos ergonómicos emergentes mediante identificación integrada, monitoreo en tiempo real, rediseño participativo de puestos, intervenciones organizacionales y evaluación continua.

6. Este estudio contribuye a la literatura al ofrecer una visión integral y humanocéntrica de los riesgos emergentes, alineada con los principios de la Industria 5.0, donde la innovación tecnológica debe estar al servicio del bienestar de las personas.

6 Limitaciones del estudio

- La revisión se centró en dos bases de datos (Scopus y Web of Science), lo que, aunque garantiza calidad y relevancia, puede haber excluido literatura de otras fuentes.
- Se estableció una ventana temporal entre **2019 y 2025**, lo que deja por fuera estudios anteriores que pudieron anticipar tendencias emergentes.
- El enfoque estuvo limitado a riesgos ergonómicos y psicosociales, lo que restringe la exploración de otros factores relevantes como riesgos químicos, biológicos o medioambientales.
- El análisis bibliométrico se basó en palabras clave y coocurrencias, lo que puede generar sesgos interpretativos al depender de cómo los autores indexan sus trabajos.
- El modelo preventivo propuesto se fundamenta en la literatura, pero aún requiere validación empírica en entornos industriales reales para comprobar su eficacia.

Referencias Bibliográficas

Abdous, M.-A., Delorme, X., Battini, D., & Sgarbossa, F. (2025). Scenario-based optimization and simulation framework for human-centered Assembly Line Balancing. *International Journal of Production Economics, 282*, 109513. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109513

Afolabi, A., Yusuf, A., & Akanmu, A. (2024). Human-in-the-Loop Digital Twin Framework for Ergonomic Assessment of Exoskeletons in Construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 29*, 1083–1102. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.048

Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., & Saberi, M. (2024). Human-robot collaboration and ergonomic risk assessment in Industry 4.0 environments. *International Journal of Industrial Ergonomics, 95*, 103735. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2023.103735

Azadeh, A., Salehi, V., & Motevali Haghighi, S. (2024). Analyzing resilient performance of workers with multiple disturbances in production systems. *Applied Ergonomics, 114*, 104169. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104169

Battini, D., Berti, N., Finco, S., Zennaro, I., & Das, A. (2022). Towards Industry 5.0: A multi-objective job rotation model for an inclusive workforce. *International Journal of Production Economics, 250*, 108619. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108619

Battini, D., Calzavara, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2022). Mental workload and cognitive risks in smart manufacturing: A systematic literature review. *Safety Science, 152*, 105750. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105750

Bittencourt, V., Saakes, D., & Thiede, S. (2025). Surrogate modelling for continuous ergonomic assessment and adaptive configuration of industrial human-centered workplaces. *Journal of Manufacturing Systems, 79*, 383–397. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2025.02.001

Bolis, I., Sigahi, T.F.A.C., & Morioka, S.N. (2024). Raising psychosocial risks in real-world work environments: A proposal for a detailed and quick questionnaire with direct application by workers. *Safety Science, 173*, 106439. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106439

Bortolini, M., Botti, L., Galizia, F. G., & Mora, C. (2023). Ergonomic design of an adaptive automation assembly system. *Machines, 11(9)*, 898. https://doi.org/10.3390/machines11090898

Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M., & Pilati, F. (2020). Motion Analysis System (MAS) for production and ergonomics assessment in the manufacturing processes. *Computers & Industrial Engineering, 139*, 105485. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.046

Cardoso, A., Colim, A., Bicho, E., Braga, A.C., & Arezes, P. (2025). A novel human-centered methodology for assessing manual-to-collaborative safe conversion of workstations. *Safety Science, 181*, 106685. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106685

Cardoso, F., Silva, P., & Sousa, R. (2024). Cybersecurity and human factors in Industry 4.0: Challenges for occupational safety. *Computers & Industrial Engineering, 185*, 109615. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109615

Caruana, L., & Francalanza, E. (2021). Safety 4.0 for Collaborative Robotics in the Factories of the Future. *FME Transactions, 49(4)*, 842–850. https://doi.org/10.5937/fme2104842C

Coccia, A., Capodaglio, E.M., Amitrano, F., Gabba, V., Panigazzi, M., Pagano, G., & D'Addio, G. (2024). Biomechanical effects of using a passive exoskeleton for the upper limb in industrial manufacturing activities: A pilot study. *Sensors, 24(5)*, 1445. https://doi.org/10.3390/s24051445

Colim, A., Faria, C., Cunha, J., Oliveira, J., Sousa, N., & Rocha, L.A. (2021). Physical ergonomic improvement and safe design of an assembly workstation through collaborative robotics. *Safety, 7(1)*, 14. https://doi.org/10.3390/safety7010014

Colim, A., Morgado, R., Dinis-Carvalho, J., & Sousa, N. (2021). An Empirical Study of the Work Conditions and Productive Performance After Collaborative Robotics Implementation in a Manufacturing Assembly Process. *FME Transactions, 49(4)*, 859–866. https://doi.org/10.5937/fme2104859C

Davoudi Kakhki, F., Moghadam, A., Nieto, A., & Vora, H. (2024). Evaluating the Efficacy of a Passive Exoskeleton for Enhancing Ergonomics in Manufacturing. *Applied Sciences, 14(13)*, 5810. https://doi.org/10.3390/app14135810

Dutta, A., & Mahapatra, S. S. (2023). Machine learning approach to determine the decision rules in ergonomic assessment of working posture in sewing machine operators. *Journal of Safety Research, 85*, 74–77. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.04.005

Dutta, A., & Mahapatra, S. S. (2023). Ergonomic risk factors in advanced manufacturing systems: An integrative review. *Applied Ergonomics, 106*, 103933. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103933

Eurofound & EU-OSHA. (2021). Working conditions in the time of COVID-19: Implications for occupational safety and health. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2806/964154

Eurofound & EU-OSHA. (2021). Informes sobre condiciones de trabajo y riesgos psicosociales durante la pandemia / Living and working in Europe 2021. Eurofound, 2022.

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work). (2022). European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks (ESENER).

European Commission. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2777/308407

European Commission. (2021, January 5). *Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry.* Directorate-General for Research and Innovation.

Gerding, T., Syck, M., Daniel, D., Naylor, J., Kotowski, S. E., Gillespie, G. L., ... & Davis, K. G. (2021). An assessment of ergonomic issues in the home offices of university employees sent home due to the COVID-19 pandemic. *Work, 68(4)*, 981–992.

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Tseng, M.-L., Grybauskas, A., Stefanini, A., & Amran, A. (2023). Behind the definition of Industry 5.0: A systematic review of technologies, principles, components and values. *Journal of Industrial and Production Engineering.* https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2216701

González-Alonso, J., Simón-Martínez, C., Antón-Rodríguez, M., González-Ortega, D., Díaz-Pernas, F.J., & Martínez-Zarzuela, M. (2024). Development of an end-to-end hardware and software pipeline for ergonomics assessment in the automotive industry. *Safety Science, 173*, 106431. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106431

Gualtieri, L., Rauch, E., & Vidoni, R. (2024). Updating design guidelines for cognitive ergonomics in human-centred collaborative robotics applications. *Applied Ergonomics, 114*, 104085. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104085

Gualtieri, L., Rauch, E., Vidoni, R., & Matt, D. T. (2024). Ergonomics in human–robot collaboration: Current trends and future challenges. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 84*, 102572. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102572

Herzog, V., Buchmeister, B., Park, J., & Kaya, Ö. (2024). Enhancing workplace safety and ergonomics with motion capture systems. *Advances in Production Engineering & Management, 19(3)*, 333–346. https://doi.org/10.14743/apem2024.3.510

Hu, X., Yan, H., Wan, C., Peng, L., & Qi, Y. (2024). Online rapid job analysis and evaluation using particle swarm optimized random forest. *IEEE Access, 12.* https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3484671

Ispăs, A., Milosan, I., & Gabor, C. (2024). Improving workplace safety and health through a rapid ergonomic risk assessment methodology enhanced by an artificial intelligence system. *Applied System Innovation, 7(6)*, 103. https://doi.org/10.3390/asi7060103

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the Future of German Manufacturing Industry.* acatech.

Keshvarparast, A., Berti, N., Chand, S., Guidolin, M., Lu, Y., Battaia, O., Xu, X., & Battini, D. (2024). Ergonomic design of Human–Robot collaborative workstation in the Era of Industry 5.0. *Computers & Industrial Engineering, 198*, 110729. https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110729

Khamaisi, R.K., Perini, M., Morganti, A., Placci, M., Grandi, F., Peruzzini, M., & Botti, L. (2024). Integrated solution for digital postural assessment using TACOs. *Computers & Industrial Engineering, 194*, 110376.

Khan, M. A., Ullah, R., & Ahmad, A. (2024). Digital skills, training, and occupational safety in Industry 5.0. *Safety Science, 168*, 106453. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106453

Khan, N., Nadeau, S., Pham, X.T., & Boton, C. (2024). Associations between accident types and construction activities using NLP. *Automation in Construction, 164*, 105457. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105457

Klein, J., & Weber, C. (2023). Environmental and physical risks in smart factories. *Journal of Cleaner Production, 403*, 136818. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136818

Koc, K. (2023). Role of national conditions in occupational fatal accidents in the construction industry. *Journal of Management in Engineering.* https://doi.org/10.1061/JMENEA.MEENG-5516

Kuber, P. M., Godbole, H., & Rashedi, E. (2024). Detecting fatigue during exoskeleton-assisted tasks. *Applied Sciences, 14(9)*, 3563. https://doi.org/10.3390/app14093563

Lasota, A. M., & Hankiewicz, K. (2024). Digital Human Modeling in Improving Ergonomics. *Management and Production Engineering Review, 15(1)*, 182–192. https://doi.org/10.24425/mper.2024.149999

Luo, X., Li, X., Goh, Y.M., Song, X., & Liu, Q. (2023). Machine learning for accident severity prediction. *Safety Science, 163*, 106138. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106138

Luo, Y., Zhang, J., & Wang, H. (2023). Psychosocial risks in digitalized work environments. *Journal of Occupational Health Psychology, 28(6)*, 583–598. https://doi.org/10.1037/ocp0000372

Marín, J., & Marín, J.J. (2021). Motion capture-based ergonomic method. *Sensors, 21(15)*, 5139. https://doi.org/10.3390/s21155139

Martínez-López, J., Pérez-González, V., & Gómez-Salgado, J. (2022). Psychosocial factors in Industry 4.0. *IJERPH, 19(21)*, 14022. https://doi.org/10.3390/ijerph192114022

Monari, E., Avallone, G., Valori, M., Agostini, L., Chen, Y., Palazzi, E., & Vertechy, R. (2024). Physical ergonomics in human–robot collaboration. *Machines, 12(4)*, 231. https://doi.org/10.3390/machines12040231

Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability, 11(16)*, 4371. https://doi.org/10.3390/su11164371

Nurse, C. A., Elstub, L. J., Volgyesi, P., & Zelik, K. E. (2023). Wearable sensors for low back disorder risks. *Sensors, 23(4)*, 2064. https://doi.org/10.3390/s23042064

Ojha, A., Gautam, Y., Jebelli, H., & Akanmu, A. (2024). Powered back-support exoskeletons: physiological impact. *Automation in Construction, 168*, 105742. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105742

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pereira, A. C., Alves, A. C., & Arezes, P. (2023). Augmented Reality in smart factories. *Applied Sciences, 13(16)*, 9120. https://doi.org/10.3390/app13169120

Pérez-Salazar, M. J., Caballero, D., Sánchez-Margallo, J. A., & Sánchez-Margallo, F. M. (2024). Predictive modelling in robotic-assisted laparoscopic surgery. *Sensors, 24(23)*, 7721. https://doi.org/10.3390/s24237721

Pistolesi, F., Baldassini, M., & Lazzerini, B. (2023). Tracking leg posture using 2-D LiDAR. *IEEE Embedded Systems Letters, 15(3)*, 137–143. https://doi.org/10.1109/LES.2022.3204200

Pistolesi, F., Baldassini, M., & Lazzerini, B. (2024). LiDAR-Based Recommendation System to Improve Sitting Posture. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 28(9)*, 5303–5313. https://doi.org/10.1109/JBHI.2024.3404233

Pistolesi, F., Baldassini, M., & Lazzerini, B. (2024). Human-centric system combining smartwatch and LiDAR. *Computers in Industry, 155*, 104042. https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.104042

Proia, S., Cavone, G., Scarabaggio, P., Carli, R., & Dotoli, M. (2025). Trajectory planning for collaborative robotics. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 22.* https://doi.org/10.1109/TASE.2023.3331505

Rimar, M., Fedak, M., Kulikov, A., Kizek, J., & Smajda, M. (2023). Low-carbon city strategy. *MM Science Journal, 2023(12)*, 7070–7074. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2023_12_2023026

Ruengdech, C., Howimanporn, S., Intarakumthornchai, T., & Chookaew, S. (2024). AI-based risk assessment for welders. *International Journal of Online and Biomedical Engineering, 20(4)*, 84–95. https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i04.46465

Selvaraj, V., Nagaraj, A., Whiffen, B.G., & Min, S. (2024). Wireless smart sensor system for lifting risk assessment. *Manufacturing Letters, 41*, 229–240. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.02.010

Silva, P., Cardoso, F., & Sousa, R. (2024). Alarm fatigue and usability risks in Industry 4.0. *Safety Science, 170*, 106512. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106512

Silva, R. L. A., Alves, K. G. B., Ochoa Villa, A. A., et al. (2023). Ergonomics in container operators. *International Journal of Industrial Engineering, 30(3)*, 763–780.

Sorlini, A., Maxia, L., Patrucco, M., & Pira, E. (2023). OSH improvements in underground construction sites. *Infrastructures, 8(6)*, 104. https://doi.org/10.3390/infrastructures8060104

Tian, J., Zhu, H., Lu, C., Yang, C., Liu, Y., Wei, B., & Yi, C. (2025). Passive occupational shoulder exoskeleton. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 72(2)*, 734–746. https://doi.org/10.1109/TBME.2024.3469242

Tomelleri, F., Sbaragli, A., Picariello, F., & Pilati, F. (2024). Digital ergonomic assessment in Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems, 77*, 246–265. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.09.003

Xiang, X., Tanaka, M., Umeno, S., Kikuchi, Y., & Kobayashi, Y. (2023). Low back-support exoskeletons. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 11*, 1289686. https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1289686

Yang, Z., Song, D., Ning, J., & Wu, Z. (2024). Review of posture risk assessment via CV + ML. *IEEE Access, 12*, 180481–180520. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3509447

Yoo, S., Kim, H., & Park, J. (2023). Musculoskeletal risks in digital manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 33(6)*, 567–582. https://doi.org/10.1002/hfm.21099

Yoo, W., Lee, S., & Kim, J. (2023). Wearable chair on gait and balance. *Applied Ergonomics, 112*, 104056. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104056

Yu, Y., Li, H., Umer, W., Dong, C., Yang, X., Skitmore, M., & Wong, A. Y. L. (2019). Automatic biomechanical workload estimation. *Journal of Computing in Civil Engineering, 33(3)*, 04019010. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000827

Yu, Y., Li, H., Yang, X., Kong, L., Luo, X., & Wong, A.Y.L. (2019). Physical fatigue assessment method. *Automation in Construction, 103*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.020

Zhang, J., Xu, X., Zhou, Z., Wang, Q., Hu, J., Zhao, H., Guo, L., & Su, Y. (2024). Passive exoskeleton for interventional surgery. *Acta Mechanica.* https://doi.org/10.1007/s00707-024-04130-7