

Tecnologías basadas en Inteligencia Artificial aplicadas a la gestión de la Seguridad y Salud  
en el Trabajo: Estado de Arte.

Lina Marcela Gazcón Ochoa

Trabajo de Grado para Optar al título de Ingeniera Industrial

Director:

Oscar Armando Vargas López

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2024

**Tabla de contenido**

Introducción.....	9
1. Cumplimiento de objetivos.....	11
2. Planteamiento del problema .....	12
3. Objetivos .....	15
4. Marco referencial.....	16
4.1 Marco de antecedentes .....	16
4.2 Marco teórico.....	20
4.2.1 Inteligencia artificial.....	20
4.2.2 Seguridad y Salud en el Trabajo.....	21
4.2.3 Tecnologías que incorporan la Inteligencia Artificial Aplicada a la SST.....	27
5. Metodología.....	34
5.1 Propósito de la revisión de literatura .....	36
5.1.1 Pertinencia del estado del arte.....	37
5.1.2 Protocolo de la revisión de literatura .....	38
5.2 Selección de los artículos con mayor relevancia .....	41
5.2.1 identificación de artículos.....	41
5.2.2 Evaluación de la calidad de los documentos .....	42
5.2.3 Compilación de datos.....	43
5.3 Divulgación de la información. ....	43
6. Resultados de la revisión .....	44
6.1 Análisis bibliométrico.....	44
6.2 Tendencias tecnológicas basadas en inteligencia artificial (IA) .....	53
6.2.1 Monitoreo en tiempo real y respuesta automática.....	57
6.2.2 Mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial.....	59
6.2.3 Equipos de protección personal inteligentes.....	60
6.2.4 Análisis de incidentes y prevención de riesgos.....	61
6.2.5 Exoesqueletos basados en inteligencia artificial .....	63
6.3 Aplicación de tecnologías que incorporan IA en entornos laborales para gestionar la Seguridad y Salud en el Trabajo en las Organizaciones .....	65
6.3.1 Sensores ambientales .....	67

6.3.2 Sistemas de alerta temprana.....	71
6.3.3 Análisis de datos de equipos.....	77
6.3.4 Modelos predictivos.....	81
6.3.5 Wearables inteligentes.....	83
6.3.6 Análisis de datos e incidentes.....	86
6.3.7 Asistencia física inteligente.....	88
6.4. Elaboración del artículo.....	90
7. Conclusiones.....	92
8. Recomendaciones.....	95
Referencias bibliográficas.....	97

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> Ejemplo de exoesqueletos .....	30
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de un robot .....	31
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de Automatización y sistemas robóticos.....	31
<b>Figura 4.</b> Metodología del estado del arte.....	34
<b>Figura 5.</b> Protocolo de la revisión de la literatura.....	38
<b>Figura 6.</b> Palabras clave .....	39
<b>Figura 7.</b> Subcategorías de la información .....	42
<b>Figura 8.</b> Artículos publicados por año.....	44
<b>Figura 9.</b> Artículos publicados por año por recurso.....	45
<b>Figura 10.</b> Artículos publicados por autores .....	46
<b>Figura 11.</b> Documentos por afiliación .....	46
<b>Figura 12.</b> Investigaciones por país .....	47
<b>Figura 13.</b> Artículos por área de conocimiento.....	48
<b>Figura 15.</b> Área de conocimiento.....	49
<b>Figura 16.</b> Publicaciones por año.....	50
<b>Figura 17.</b> Publicaciones por autor .....	51
<b>Figura 18.</b> Publicaciones por país .....	51
<b>Figura 19.</b> Afiliación de las publicaciones.....	52

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Cumplimiento de objetivos .....	11
<b>Tabla 2.</b> Decretos enfocados en SST en Colombia.....	25
<b>Tabla 3.</b> Resoluciones orientadas a SST en Colombia.....	27
<b>Tabla 4.</b> Desarrollo del estado del arte.....	35
<b>Tabla 5.</b> Términos clave.....	39
<b>Tabla 6.</b> Ecuaciones de búsqueda .....	40
<b>Tabla 7.</b> Categorías de clasificación de los artículos .....	40
<b>Tabla 8.</b> Criterios de inclusión y exclusión.....	41

**Lista de apéndices.**

Apéndice A. Matriz con los principales hallazgos de la revisión de literatura.

Apéndice B. Artículo científico de los resultados obtenidos en la investigación.

## Resumen

**Título:** Tecnologías basadas en Inteligencia Artificial aplicadas a la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo: Estado de Arte\*

**Autor:** Lina Marcela Gazcón Ochoa\*\*

**Palabras clave:** inteligencia artificial, seguridad laboral, SST, tecnología.

**Descripción:** la inteligencia artificial (IA) ha fortalecido la seguridad y salud en el trabajo (SST) al ofrecer soluciones avanzadas para prevenir accidentes y optimizar el bienestar de los empleados. A través de tecnologías como el aprendizaje profundo y sensores inteligentes, la IA permite la monitorización en tiempo real de las condiciones laborales y la salud de los trabajadores. Esto facilita la detección temprana de riesgos y la adaptación personalizada de equipos, como exoesqueletos inteligentes, que reducen la carga física y la fatiga. Además, los sistemas de IA mejoran la precisión en la identificación de fallos y la gestión de riesgos, proporcionando alertas y recomendaciones que ayudan a evitar incidentes y a mantener un entorno de trabajo más seguro. La integración de la IA en la SST optimiza la seguridad, reduce el riesgo de lesiones y mejora el bienestar general de los trabajadores.

La integración de IA en sistemas de seguridad permite una gestión más eficiente de los riesgos mediante la personalización de las alertas y recomendaciones en función de las condiciones específicas de trabajo y los datos de salud del empleado. Estos sistemas pueden emitir notificaciones automáticas para advertir sobre patrones de comportamiento que podrían indicar un riesgo, facilitando una intervención más oportuna.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ingeniería Industrial. Director: Oscar Armando Vargas López

### Abstract

**Title:** AI-Based Technologies Applied to Occupational Health and Safety Management: State of the Art\*

**Author:** Lina Marcela Gazcon Ochoa\*\*

**Keywords:** artificial intelligence, occupational safety, OHS, technology.

Artificial intelligence (AI) has strengthened occupational safety and health (OSH) by providing advanced solutions to prevent accidents and optimize employee well-being. Through technologies such as deep learning and smart sensors, AI enables real-time monitoring of workplace conditions and worker health. This facilitates early risk detection and the personalized adaptation of equipment, such as smart exoskeletons, which reduce physical load and fatigue. Additionally, AI systems enhance the accuracy of fault identification and risk management, providing alerts and recommendations that help prevent incidents and maintain a safer work environment. The integration of AI into OSH optimizes safety, reduces the risk of injuries, and improves overall worker well-being. AI integration in safety systems allows for more efficient risk management by personalizing alerts and recommendations based on specific work conditions and employee health data. These systems can issue automatic notifications to warn about behavioral patterns that may indicate a risk, enabling more timely interventions.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ingeniería Industrial. Director: Oscar Armando Vargas López

## **Introducción**

En la actualidad, el avance de las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial (IA) ha transformado de manera significativa diversos aspectos de la sociedad y la industria. Uno de los campos en los que la aplicación de tecnologías basadas en IA ha demostrado un gran potencial es en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). La capacidad de procesamiento de datos, aprendizaje automático y análisis predictivo ha permitido desarrollar soluciones innovadoras que no solo optimizan los procesos existentes, sino que también contribuyen a prevenir riesgos laborales y mejorar las condiciones de seguridad para los trabajadores.

En la investigación se exploraron diversas tecnologías que ayudan a mejorar las condiciones laborales haciendo que los trabajos sean más seguros, menos monótonos y más gratificantes, y como la aplicación de la IA en el ámbito de la SST puede fortalecer las condiciones de seguridad desde sistemas de monitoreo y detección de riesgos hasta herramientas de análisis de datos que permiten una toma de decisiones informada en las organizaciones. Las técnicas computacionales modernas permiten procesar grandes volúmenes de datos de manera más eficiente y efectiva para obtener información valiosa que antes no era posible; estas técnicas también permiten la identificación de patrones y tendencias en los datos, lo que puede ayudar a los profesionales a tomar decisiones más informadas y precisas (Basáez & Mora, 2022)

Igualmente, se tuvieron en cuenta casos de estudio, investigaciones relevantes y avances tecnológicos recientes, con el propósito de ofrecer una visión integral del panorama actual y futuro de la aplicación de la IA en la gestión de la SST. Este trabajo pretende contribuir al conocimiento y comprensión de las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial en el ámbito

de la Seguridad y Salud en el Trabajo, brindando una perspectiva detallada de las tendencias actuales y las posibles direcciones futuras. La unión de la tecnología y la seguridad laboral no solo representa un avance en términos de eficiencia operativa, sino que, además promueve un entorno laboral más seguro y saludable para todos los trabajadores.

## 1. Cumplimiento de objetivos

A continuación, se observan los objetivos planteados y su respectivo desarrollo en las páginas señaladas.

### Tabla 1.

#### *Cumplimiento de objetivos*

<b>Objetivo</b>	<b>Página</b>
Realizar una revisión sistemática de literatura científica para reconocer las aplicaciones de Inteligencia Artificial que fortalecen la Seguridad y Salud en el Trabajo dentro del sector empresarial.	Página 41
Identificar las tendencias sobresalientes de Inteligencia Artificial en Seguridad y Salud en el Trabajo con aplicación en las empresas, a través del análisis de las aplicaciones de IA en términos de eficacia, ventajas, desventajas y relevancia con el propósito de disminuir la siniestralidad laboral.	Página 53
Analizar los resultados de la revisión sistemática permitiendo mostrar los avances, usos y aplicaciones de las tendencias en tecnologías basadas en AI en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.	Página 65
Elaborar un artículo científico sobre los resultados obtenidos en la investigación.	Apéndice B

## 2. Planteamiento del problema

A nivel global, las tasas de mortalidad laboral por cada 100,000 personas disminuyeron en un 14% entre los años 2000 y 2016. Este declive podría atribuirse a la implementación de mejoras en las condiciones de salud y seguridad en entornos laborales. No obstante, hubo un aumento significativo del 41% en las muertes relacionadas con enfermedades cardíacas y un incremento del 19% en los accidentes cerebrovasculares vinculados a jornadas laborales prolongadas. Estos hallazgos reflejan una tendencia en aumento respecto a este factor de riesgo ocupacional relativamente novedoso y de naturaleza psicosocial (Organización Internacional del Trabajo, 2021).

Según el Consejo Colombiano de Seguridad en el primer trimestre de 2023, se registraron un total de 87 decesos de trabajadores, dando lugar a una tasa trimestral de 0,75 fallecimientos por cada 100.000 trabajadores. Esta cifra evidencia una disminución en comparación con la tasa correspondiente al mismo trimestre de los últimos cinco años. Sin embargo, en promedio, cada día se lamenta la pérdida de un trabajador debido a causas vinculadas a su labor, lo que equivale a seis decesos por semana (Consejo Colombiano de Seguridad, 2023).

Por quinta vez consecutiva, el departamento de Magdalena exhibe la tasa más elevada de accidentes laborales durante los primeros tres meses del año, alcanzando 1,67 accidentes por cada 100 trabajadores. En la segunda posición se encuentra Boyacá, con una tasa de 1,54 accidentes por cada 100 trabajadores, seguido por el departamento de Santander en el tercer lugar, con una tasa trimestral de 1,51 eventos por cada 100 trabajadores. En cuanto al volumen de incidentes registrados, Bogotá lidera la lista con un total de 34.647 eventos, representando un aumento del 3,1%. En segunda posición se encuentra Antioquia, con un registro de 29.871

accidentes laborales. Estas dos regiones en conjunto concentran el 47,3% del total de casos (Forbes, 2023).

Teniendo en cuenta que las cifras respecto a siniestralidad y enfermedades laborales son altas, el sector empresarial tiene la necesidad de encontrar herramientas o insumos que le permitan mitigar los riesgos y proporcionar un espacio más seguro a sus trabajadores. Uno de los avances tecnológicos que se podría aplicar en SST es la Inteligencia Artificial (IA), la cual ha demostrado eficiencia en diferentes sectores, optimizando los recursos y proporcionando resultados satisfactorios.

De acuerdo con (Rouhiainen, 2018) la IA es la habilidad que tienen los equipos de cómputo para desarrollar actividades que requieren inteligencia humana. La IA ha emergido como una herramienta revolucionaria con un amplio potencial para mejorar el desempeño en distintas áreas, incluyendo la Seguridad y la Salud en el Trabajo, puesto que, gracias a la *Big Data* y la capacidad de procesar datos mediante algoritmos es posible modificar la forma de realizar el trabajo, ya sea a través de *cobots*, *tablets* de asistencia en líneas productivas, *chatbots*, tecnologías portátiles o equipos de protección personal inteligente (PPE), entre otras aplicaciones (García, 2022).

Entre las múltiples ventajas de integrar la Inteligencia Artificial en la Seguridad y Salud en el Trabajo, se encuentra el análisis rápido y preciso de grandes volúmenes de datos generados por diferentes fuentes, como sensores y dispositivos de monitoreo; lo cual, facilita la identificación oportuna de riesgos laborales y la implementación temprana de preventivas adecuadas para minimizarlos. Además, la Inteligencia Artificial puede mejorar los programas de capacitación en Seguridad y Salud laboral, puesto que los sistemas de IA pueden simular situaciones reales y proporcionar un entorno virtual para que los trabajadores practiquen habilidades y aprendan a manejar riesgos de forma segura; lo cual posibilita una capacitación

más efectiva y personalizada, lo que a su vez puede reducir los accidentes y enfermedades laborales.

La aplicación de la Inteligencia Artificial para gestionar la Seguridad y Salud en el Trabajo representa un potencial significativo en la prevención de riesgos laborales, la detección temprana de comportamientos inseguros, peligros y la promoción de entornos de trabajo más seguros. Lo cual, es pertinente en Colombia, puesto que en las cifras de siniestralidad laboral para el 2021 se reportaron una tasa de enfermedades laborales de 394,9 enfermedades por cada 100.000 empleados. Además, la tasa de muertes relacionadas con el trabajo fue de 5.63 por cada 100.000 trabajadores, aumentando un 23% respecto al año anterior; donde las industrias con mayor accidentalidad en Colombia son la manufacturera, la inmobiliaria y la relacionada con minas y canteras (CCS, 2022)

Teniendo en cuenta la información anterior, se puede inferir que es necesario identificar las aplicaciones que permiten fortalecer la Seguridad y la Salud en el Trabajo; puesto que generarán un entorno laboral más seguro, saludable y productivo, protegiendo la integridad física y mental de los trabajadores y promoviendo una cultura de seguridad en las empresas.

### **3. Objetivos**

#### **2.1 Objetivo general**

Elaborar un estado de arte que permita la identificación de las tecnologías actuales en IA para el mejoramiento de la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

#### **2.2 Objetivos específicos**

Realizar una revisión sistemática de literatura científica para reconocer las aplicaciones de Inteligencia Artificial que fortalecen la Seguridad y Salud en el Trabajo dentro del sector empresarial.

Identificar las tendencias sobresalientes de Inteligencia Artificial en Seguridad y Salud en el Trabajo con aplicación en las empresas, a través del análisis de las aplicaciones de IA en términos de eficacia, ventajas, desventajas y relevancia con el propósito de disminuir la siniestralidad laboral.

Analizar los resultados de la revisión sistemática permitiendo mostrar los avances, usos y aplicaciones de las tendencias en tecnologías basadas en AI en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Elaborar un artículo científico sobre los resultados obtenidos en la investigación.

## **4. Marco referencial**

### **4.1 Marco de antecedentes**

Como eje referencial se consultaron investigaciones previas y trabajos relevantes a nivel internacional permitió para obtener una comprensión integral del contexto, identificar patrones emergentes y aplicar prácticas exitosas que han sido desarrolladas en otros contextos académicos y culturales. A continuación, se describen los antecedentes internacionales que se tuvieron en cuenta.

En una investigación desarrollada en la Universidad de Valencia en España, cuyo objetivo fue analizar los riesgos para la salud asociados con el uso de la Inteligencia Artificial (IA) en la gestión del trabajo, el autor examinó cómo la automatización y la toma de decisiones algorítmicas pueden afectar la salud y el bienestar de los trabajadores, así como las implicaciones éticas y legales de esta tendencia.

El análisis se centró en cómo las aplicaciones de IA pueden influir en aspectos de la SST tales como la supervisión laboral, la asignación de tareas, la toma de decisiones y la compensación, y cómo estas influencias pueden impactar la salud física y mental de los empleados. El trabajo fue realizado mediante la revisión de literatura existente sobre los riesgos laborales asociados con la Inteligencia Artificial en la gestión del trabajo, se observó que el autor realizó un análisis crítico de las tendencias actuales en el uso de la Inteligencia Artificial en entornos laborales, así como de las implicaciones éticas y legales relacionadas con el tema.

En su estudio, el autor determinó que la vigilancia continua mediante sensores, la intensificación del trabajo debido a las decisiones automatizadas de una máquina sin sensibilidad hacia los límites humanos, la disminución de la autonomía del empleado en función de las decisiones de la Inteligencia Artificial, las posibles discriminaciones

camufladas bajo la apariencia de neutralidad algorítmica, y los errores operativos, pueden desencadenar graves problemas de salud tanto física como mental para los trabajadores. De lo cual se puede inferir que las aplicaciones de IA en SST requieren de supervisión humana para aprovecharlas al máximo sin generar efectos negativos.

Sin embargo, la correcta programación del algoritmo es crucial para reducir los riesgos laborales asociados con la gestión algorítmica del trabajo; el algoritmo debe tener en cuenta los riesgos laborales en su programación, de manera similar a como un supervisor debe tener formación en prevención de riesgos para realizar su trabajo. Además, la introducción de la gestión algorítmica del trabajo debe realizarse con cautela y estableciendo salvaguardas para proteger la seguridad y salud de los trabajadores.

Por otro lado, el autor destaca la necesidad de evaluar específicamente los riesgos para de la salud de los trabajadores que deben acatar las decisiones y el poder organizativo de un algoritmo, así como la importancia de implementar medidas preventivas e integrarlas en la planificación preventiva de una organización, teniendo en cuenta la opinión de los representantes de los trabajadores (Todolí-Signes, 2019).

Otra investigación internacional referente fue “El impacto de la Inteligencia Artificial en el trabajo”, donde el objetivo fue analizar el impacto de la Inteligencia Artificial en los intereses generales de la sociedad y cómo este avance tecnológico afecta el empleo, así como también explorar cómo las personas pueden adaptarse a este nuevo escenario laboral. La metodología de la investigación incluyó aspectos cuantitativos y cualitativos. Se observaron estudios estadísticos a nivel mundial para analizar el impacto de la aplicación de la inteligencia artificial en el empleo, los cuales proporcionaron datos cuantitativos que permitieron evaluar el alcance del impacto de la inteligencia artificial en el empleo. Por otro lado, se describieron las transformaciones sufridas por los trabajos

actuales y las nuevas habilidades que las personas deben desarrollar, lo que implica un enfoque más cualitativo.

El autor concluyó que las cifras sobre el incremento en la robotización no afectan las tasas de desempleo en las naciones con mayor avance tecnológico en ese campo. En el sector público, no se contemplan riesgos concretos frente a la ola de automatización que proyecta en los próximos años, por el contrario, es clave aprovechar el potencial de la IA y la robótica, alfabetizar, acompañar la transición para que los trabajadores puedan adquirir nuevas habilidades y generar ecosistemas fértiles para que las personas vulnerables no se queden atrás. Respecto a América Latina, se prevén numerosos obstáculos a la hora de adoptar tecnologías, lo que puede dificultar la adaptación al nuevo escenario laboral generado por la Inteligencia Artificial (Corvalán, 2019).

Finalmente, en otra investigación internacional cuyo objetivo general fue resaltar aspectos relevantes que giran en torno a la importancia de implementar el uso de la Inteligencia Artificial para detectar el comportamiento del trabajador en la prevención de accidentes laborales. La metodología empleada incluyó la revisión de diversas bases de datos académicas y la consulta de documentos de organizaciones internacionales como la OMS, la OMT y la ONU. Además, se revisaron trabajos y tesis relacionados con la temática para recopilar información relevante sobre el uso de la inteligencia artificial en la prevención de accidentes laborales.

Los autores determinaron que las empresas están adoptando cada vez más tecnologías como la Inteligencia Artificial para anticipar y prevenir los riesgos de accidentes que pueden enfrentar sus empleados. La capacidad de la Inteligencia Artificial para recopilar y analizar datos algorítmicamente facilita la identificación de posibles situaciones de riesgo o comportamientos inapropiados por parte de los trabajadores, lo

que resulta en una mayor protección y una reducción de los peligros en el entorno laboral. (Noguera et al, 2022).

En cuanto a los antecedentes nacionales, se revisó un estudio que se enfoca en ofrecer un análisis sistematizado de las percepciones de los profesionales de la salud respecto al uso de la Inteligencia Artificial como una tecnología influyente en el ámbito de la salud pública. El estudio adoptó un enfoque cualitativo, empleando métodos de recopilación de datos flexibles y no completamente estandarizados para captar las perspectivas, sentimientos, prioridades, experiencias y otros elementos subjetivos de los participantes. Entre las conclusiones del autor destaca que la Inteligencia Artificial tiene un gran potencial para mejorar la toma de decisiones clínicas, reducir los errores médicos y mejorar la eficiencia en la atención médica, sin embargo, la confianza y los sesgos cognitivos son factores para considerar en la implementación de la inteligencia artificial en la atención médica.

Además, se consideró otro estudio cuyo propósito fue analizar la relación entre la Inteligencia Artificial y el empleo humano, enfocándose en la creación de empleo y la estabilidad laboral, en función de las necesidades presentes y futuras del mercado laboral. La investigación pretendió determinar si es posible armonizar la mano de obra con la Inteligencia Artificial y cómo se puede lograr una transición justa hacia un futuro más automatizado. Se observó que los autores emplearon una metodología de investigación documental, haciendo referencia a diversas fuentes de información, como libros, artículos y entrevistas con expertos en el tema.

Como conclusión, los autores plantean que la automatización y la Inteligencia Artificial pueden tener un impacto significativo en el mercado laboral, y que es importante considerar cómo se pueden armonizar con el trabajo humano para maximizar

los beneficios y minimizar los riesgos. En la investigación se sugiere que la educación y la formación son clave para preparar a los trabajadores para el futuro del trabajo, y que las empresas deben ser proactivas en la implementación de nuevas tecnologías y en la gestión de la transición hacia un futuro más automatizado (García-Murillo & Gordillo-Ruíz, 2021).

## **4.2 Marco teórico**

### ***4.2.1 Inteligencia artificial.***

La Inteligencia Artificial (IA) denota la habilidad de las máquinas o sistemas informáticos para llevar a cabo funciones que generalmente demandan inteligencia humana. Estas funciones abarcan el aprendizaje, la toma de decisiones, la resolución de problemas, la percepción visual, el reconocimiento de voz y la comprensión del lenguaje. La finalidad principal de la Inteligencia Artificial es crear sistemas capaces de ejecutar estas tareas de forma independiente, sin necesidad de intervención humana constante.

En la investigación desarrollada por (Padilla, 2019) se recopilieron distintos conceptos o definiciones de la Inteligencia Artificial de algunos autores seminales. Richard Bellman la describe como una herramienta que permite generar una definición más simple y concreta sobre qué es la Inteligencia Artificial. Robert J. Schalkoff la define como un campo de estudio que se enfoca en la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales. Stuart Russell y Peter Norvig la describen como la integración de algoritmos diseñados para desarrollar máquinas que exhiban habilidades comparables a las del ser humano. Seymour Papert la describe como la ampliación de la capacidad de las máquinas para realizar funciones que se considerarían inteligentes si las realizaran personas.

La Inteligencia Artificial (IA) se originó en la década de 1950 con la introducción del término en la Conferencia de Dartmouth. Sin embargo, en 1943, Warren McCulloch y Walter Pitts ya habían desarrollado un modelo de neuronas artificiales para cálculos de lógica proposicional. Más tarde, Alan Turing propuso el Test de Turing para evaluar la inteligencia de las máquinas. En 1951, Marvin Minsky y Dean Edmond presentaron la primera computadora de red neuronal, conocida como SNARC. Posteriormente, en 1955, se publicó "Una Propuesta para el Proyecto de Investigación en Sistemas y sus Propiedades Emergentes" como parte de las conclusiones de la Conferencia de Investigación de Verano en Dartmouth College (Arrestegui, 2012).

La Inteligencia Artificial (IA) plantea una serie de dilemas éticos que demandan la implementación de marcos éticos para guiar su desarrollo. Entre estos desafíos se encuentra la necesidad de establecer límites razonables en el uso de recursos para proyectos de IA, así como la regulación del ámbito de seguridad y los usos militares de esta tecnología, históricamente difíciles de supervisar. Además, la eventual llegada de robots con superinteligencia plantea preguntas fundamentales sobre derechos, deberes y responsabilidades, así como el grado de toma de decisiones que se les permitirá en asuntos humanos. Estas consideraciones subrayan la complejidad y las significativas implicaciones de la IA en la sociedad contemporánea (Abeliuk & Gutiérrez, 2021).

#### ***4.2.2 Seguridad y Salud en el Trabajo.***

Seguridad y Salud en el Trabajo" (SST) se entiende como un conjunto de medidas y prácticas destinadas a proteger la integridad física y mental de los trabajadores. La gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo es indispensable en las organizaciones en el mundo económico actual, donde la complejidad laboral está permeada por diversos factores de riesgo para la salud integral del personal. Así mismo, la adopción de medidas

de Seguridad y Salud en el Trabajo puede traer consigo ventajas como una mayor conciencia sobre el autocuidado, el desarrollo del personal, la mejora en los procesos de calidad y condiciones laborales más favorables. Esto, a su vez, puede contribuir a un incremento en la productividad y una disminución en el ausentismo y los costos asociados a indemnizaciones. (Tamayo, 2018).

La Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) es un área multidimensional que abarca diversos elementos para garantizar el bienestar de los trabajadores y la eficacia de las operaciones laborales. En SST se prioriza la prevención de lesiones y enfermedades derivadas de las condiciones laborales, así como la promoción de la salud física, mental y social de los empleados. Además, la SST pretende mejorar las condiciones y el ambiente de trabajo, anticipando, reconociendo, evaluando y controlando los riesgos potenciales. Estas mejoras requieren un liderazgo comprometido por parte de las empresas, en colaboración con los trabajadores para implementar medidas efectivas de SST y mejorar continuamente el comportamiento, las condiciones y el entorno laboral. La utilización de Tecnologías de Información y Comunicaciones (TICs) juega un papel crucial al facilitar una gestión transversal a lo largo del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), impulsando así la mejora continua de la seguridad y salud en el trabajo.

El SST se destacan los conceptos que se describen a continuación:

- **Higiene industrial:** se refiere a la anticipación de factores ambientales que puedan representar riesgos para la salud de los trabajadores o la comunidad (Chamochumbi-Barrueto, 2014, pág. 22). Entre los factores ambientales que pueden afectar la salud de los trabajadores, se encuentran la exposición a sustancias químicas, ruido, vibraciones, radiaciones, entre otros.

- **Ergonomía:** de acuerdo con la Asociación Internacional de Ergonomía, la ergonomía abarca un conjunto de conocimientos científicos aplicados con el fin de lograr que el trabajo, los sistemas, productos y entornos sean ajustados a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de las personas. La finalidad de la ergonomía es adecuar las tareas laborales a las habilidades y posibilidades del individuo (Asociación Española de Ergonomía, s.f).
- **Salud ocupacional:** incluye la promoción de la salud y el bienestar de los trabajadores, así como la detección y prevención de enfermedades laborales, lo cual implica la realización de exámenes médicos periódicos, programas de bienestar y promoción de hábitos saludables.
- **Formación y capacitación:** es esencial proporcionar a los trabajadores la información y la formación necesarias para realizar sus tareas de manera segura. Esto incluye la capacitación en el uso correcto de equipos, procedimientos de emergencia, y otros aspectos relevantes para la seguridad y salud en el trabajo.
- **Riesgos laborales:** los riesgos laborales se entienden como circunstancias o condiciones en el entorno de trabajo que pueden perjudicar la salud o la seguridad de los empleados. Estos riesgos pueden ser físicos, químicos, biológicos, ergonómicos o psicosociales, y están vinculados tanto a las tareas realizadas como al entorno de trabajo. Entre los riesgos laborales se encuentran la exposición a agentes nocivos, situaciones de estrés, violencia en el lugar de trabajo, jornadas largas y la ausencia de medidas de protección adecuadas (Pereira et al., 2022).
- **Tipos de riesgos laborales:** los riesgos laborales en el entorno abarcan una amplia gama de peligros que pueden afectar la salud y seguridad de los trabajadores. Entre estos, se destacan los riesgos ambientales, que incluyen la exposición a agentes químicos y la posibilidad de contaminación ambiental. Además, los

riesgos físicos, como los accidentes por materiales y las caídas derivadas de la dinámica de las actividades laborales, representan una preocupación constante. A su vez, los riesgos biológicos, están asociados con la exposición a materiales contaminados y biológicos, los cuales aumentan el riesgo de enfermedades infectocontagiosas. Los riesgos ergonómicos, como las lesiones por esfuerzos repetitivos y las caídas debido a la naturaleza de las tareas realizadas, también requieren atención especial. Finalmente, los riesgos psicosociales, como la sobrecarga psíquica, la falta de control sobre el trabajo y los factores estresantes en el ambiente laboral, completan los desafíos que deben ser abordados para garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable (Pereira et al., 2022).

- **Enfermedad laboral:** una enfermedad laboral se refiere a las condiciones de salud que se relacionan con el trabajo que desempeña una persona, por lo cual es relevante realizar exámenes periódicos a los trabajadores, especialmente a aquellos que ocupan puestos de trabajo con mayor riesgo de sufrir enfermedades laborales. La información y la formación preventiva son herramientas necesarias para los trabajadores, especialmente frente a los riesgos modificables relacionados con enfermedades que, en ocasiones, se pueden prevenir con adaptaciones en el puesto de trabajo (Cantó-Sancho, 2021)

Las normas y regulaciones de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en Colombia establecen las disposiciones generales para la promoción de la salud ocupacional y la prevención de riesgos laborales en el país. A continuación, se detallan los decretos y regulaciones en SST en el país.

**Tabla 2.***Decretos enfocados en SST en Colombia*

<b>DECRETOS</b>		
<b>Número</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
614	1984	Define la organización y gestión del Sistema General de Riesgos Profesionales.
2177	1989	Regula y ejecuta las disposiciones de la Ley 82 de 1988, la cual ratificó el Convenio número 159 de la Organización Internacional del Trabajo, relativo a la readaptación profesional y la empleabilidad de individuos con discapacidad.
1295	1994	Define la organización y gestión del Sistema General de Riesgos Profesionales.
1607	2002	Realiza ajustes en la Tabla de Clasificación de Actividades Económicas empleada en el Sistema General de Riesgos Profesionales, al mismo tiempo que incorpora otras normativas asociadas.
2090	2003	Busca identificar las ocupaciones que conllevan un riesgo significativo para la salud de los empleados.
1477	2014	Define una tabla que lista las enfermedades laborales oficialmente reconocidas y caracterizadas por la normativa vigente.
1507	2014	Desarrolla un manual integral que establece los criterios y procesos para evaluar la disminución de la capacidad laboral y ocupacional.
1072	2015	Decreto Único Sector Trabajo
472	2015	Define los parámetros y criterios para determinar la cuantía de las sanciones por incumplimiento de las regulaciones relacionadas con la Seguridad y Salud en el Trabajo y los Riesgos Laborales.
1669	2016	Incorpora disposiciones adicionales a las regulaciones ya establecidas en el Decreto 1072 de 2015, específicamente en lo que respecta a la seguridad social de los estudiantes que se involucran en programas de incentivos para prácticas laborales y judicatura en el sector público.

<b>DECRETOS</b>		
<b>Número</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
171	2016	Se establece que todos los empleadores, tanto en el ámbito público como en el privado, incluyendo aquellos que contraten personal bajo diversas modalidades, organizaciones de economía solidaria, empresas del sector cooperativo y empresas de servicios temporales, deben sustituir el Programa de Salud Ocupacional por el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) antes del 31 de enero de 2017.
52	2017	Realiza cambios en el artículo 2.2.4.6.37 del Decreto 1072 de 2015, el cual aborda la transición para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).
392	2018	Este decreto establece las normativas específicas para reglamentar los numerales 1 y 8 del artículo 13 de la Ley 1618 de 2013, los cuales abordan los incentivos relacionados con los procesos de contratación en favor de personas con discapacidad.
2106	2019	Este decreto tiene como propósito establecer normativas orientadas a simplificar, eliminar y reformar trámites, procesos y procedimientos que resulten innecesarios en la administración pública.
417	2020	Este decreto declara un estado de emergencia económica, social y ecológica en todo el territorio nacional con el objetivo de hacer frente a situaciones críticas o urgentes vinculadas a la economía, el bienestar social y la preservación del medio ambiente.
420	2020	Este decreto ofrece orientación e instrucciones para la creación de regulaciones relacionadas con el orden público en respuesta a la emergencia sanitaria causada por la pandemia de COVID-19.
488	2020	Este decreto establece medidas laborales que se aplican en el contexto del Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica declarado mediante el decreto 417 de 2020. Dichas medidas tienen como propósito abordar las circunstancias excepcionales derivadas de la emergencia.
771	2020	Este decreto implementa una medida destinada a asegurar el acceso a servicios de conectividad en todo el territorio nacional durante el Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica. Su propósito es garantizar la accesibilidad a servicios de comunicación en situaciones excepcionales.
1615	2021	Esta ley establece directrices y regulaciones en respuesta a la emergencia sanitaria generada por la pandemia de Coronavirus COVID-19, con el objetivo de mantener el orden

DECRETOS		
Número	Año	Descripción
		público durante esta crisis.

*Nota.* La información fue obtenida de (Rivera-Rojas & Rodríguez-Parra, 2023)

### Tabla 3.

#### *Resoluciones orientadas a SST en Colombia*

RESOLUCIONES		
Número	Año	Descripción
312	2019	Esta ley establece los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.
89	2019	Esta ley aprueba la implementación de una Política Integral orientada a prevenir y atender el consumo de sustancias psicoactivas.
777	2021	Define los criterios y condiciones que deben seguirse en la realización de actividades económicas, sociales y gubernamentales. También incorpora un protocolo de bioseguridad con el fin de asegurar la ejecución segura de dichas actividades.
4927	2016	Este decreto establece los estándares y condiciones necesarios para llevar a cabo, certificar y registrar la capacitación virtual en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST).
4272	2021	Programa para protección de caídas en alturas
6045	2014	Plan Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo 2013-2021.
2400	1979	Estatuto de Seguridad industrial en Colombia

*Nota.* La información fue obtenida de (Rivera-Rojas & Rodríguez-Parra, 2023)

### 4.2.3 Tecnologías que incorporan la Inteligencia Artificial Aplicada a la SST.

#### 4.2.3.1 Automatización y Robótica.

La automatización ha creado más empleos a largo plazo de los que ha destruido, ya que aumenta la productividad y amplía la demanda de trabajo, especialmente en contextos

donde la automatización complementa muchos trabajos, especialmente aquellos que dependen de la flexibilidad y el razonamiento abstracto (Graf & Mohamed, 2024).

Actualmente, se han diseñado e implementado exoesqueletos que se utilizan en sitios de trabajo peligrosos para ayudar a reducir el riesgo de lesiones musculoesqueléticas relacionadas con el trabajo (TME) y mejorar la seguridad y la eficiencia en el lugar de trabajo. En entornos industriales, los trabajadores a menudo realizan tareas que implican levantar cargas pesadas, movimientos repetitivos y posturas incómodas, lo que puede aumentar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Los exoesqueletos pueden proporcionar soporte físico y reducir la carga sobre las articulaciones del cuerpo durante estas tareas, lo que puede ayudar a mejorar la postura, reducir la fatiga muscular y disminuir la presión sobre ciertas áreas del cuerpo.

Los exoesqueletos pueden mejorar la productividad y la calidad del trabajo al reducir la fatiga y el estrés físico en los trabajadores, lo que puede mejorar la seguridad y la eficiencia en el lugar de trabajo. Las posturas corporales respaldadas y las tareas objetivo que los exoesqueletos están diseñados para ayudar en entornos industriales incluyen una amplia gama de actividades, como la manipulación manual de materiales, el uso de herramientas y diversas posturas corporales adoptadas durante el trabajo, como agacharse, inclinarse, empujar, jalar, torcer, sentarse, pararse, arrodillarse, doblarse y levantar (Golabchi et al, 2022).

Por otro lado, la introducción de robots industriales en la producción puede aumentar la productividad laboral, lo que a su vez puede aumentar el producto marginal del trabajo. Sin embargo, también puede haber una presión a la baja sobre los salarios debido a la sustitución de trabajadores por robots. En general, la introducción de robots industriales puede conducir a una brecha entre los salarios y la productividad laboral. El papel potencial de los robots industriales en abordar los salarios estancados desafía la

sabiduría económica convencional que establece que la remuneración de un factor de producción está determinada por su productividad. La introducción de robots industriales puede generar una brecha entre el crecimiento de la productividad laboral y el crecimiento de los salarios, lo que contradice la relación tradicional entre ambos factores (Prettner, 2023).

Respecto a la automatización, cuya finalidad es realizar tareas de manera óptima y eficaz, mitigando errores potenciales que podrían resultar en riesgos laborales. El enfoque principal para las organizaciones que buscan cumplir con los requisitos de la norma ISO 45001 y las obligaciones legales locales es la automatización del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Sin embargo, esta automatización demanda el respaldo de herramientas especializadas proporcionadas por un software de gestión ISO.

La automatización suele aplicarse para el control de documentos, donde la gestión manual de la creación, revisión, aprobación y almacenamiento de documentos conlleva un riesgo significativo para las organizaciones, ya que existe la posibilidad de enfrentar incidentes costosos. La consulta de un manual de operaciones desactualizado representa un riesgo crítico que podría resultar incluso en situaciones peligrosas, por lo cual la automatización en la gestión de documentos proporciona la capacidad de verificar la autoría de la información, la fecha de creación del documento, los responsables de realizar cambios y determinar la versión definitiva, mitigando así estos riesgos asociados con la manipulación manual de la documentación (Kantan Software, 2023).

Para abordar los impactos de la automatización en la seguridad laboral, las empresas se han planteado la implementación de medidas clave. Esto incluye proporcionar formación especializada a los trabajadores para operar máquinas automatizadas de manera segura y realizar evaluaciones exhaustivas de riesgos,

adaptando los métodos tradicionales a los desafíos actuales. El diseño ergonómico de entornos automatizados es esencial para minimizar lesiones en los trabajadores.

La colaboración humano-máquina se aborda mediante la definición de protocolos claros y la implementación de zonas seguras. En el ámbito de la ciberseguridad, se destaca la necesidad de medidas robustas para proteger las redes y sistemas interconectados, previniendo el acceso no autorizado y manipulaciones maliciosas. Este enfoque integral pretende garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores en el entorno laboral actual, abordando de manera efectiva los desafíos emergentes asociados con la automatización.

A continuación, en la **Figura 1**, **Figura 2**, **Figura 3**, se ilustran ejemplos de la aplicación de los exoesqueletos, robots y automatización en entornos industriales, donde los trabajadores se apoyan en estas innovaciones para mejorar sus condiciones laborales y optimizar el trabajo, reduciendo la exposición corporal y evitando potenciales lesiones.

### **Figura 1.**

*Ejemplo de exoesqueletos*



*Nota.* La imagen fue obtenida de (Iberdrola, s.f)

**Figura 2.**

*Ejemplo de un robot*



*Nota.* La imagen fue obtenida de (Comercio, 2019)

**Figura 3.**

*Ejemplo de Automatización y sistemas robóticos*



*Nota.* La imagen fue obtenida de (Sinto, s.f.)

#### 4.2.3.2 Aprendizaje Automático (*Machine Learning*).

Es un conjunto de algoritmos de aprendizaje automático que se utilizan para aprender y entrenar a partir de datos y lograr predicciones precisas de eventos futuros (Cheng et al, 2024). Vehículos autónomos, asistentes que traducen de manera instantánea

entre idiomas, y recomendaciones de compra personalizadas son ejemplos de avances tecnológicos que ahora son alcanzables gracias al "Machine Learning".

Los modelos de predicción de accidentes basados en el aprendizaje automático se dividen en tres categorías principales según el enfoque del accidente modelado. Primero, los Modelos de predicción de la ocurrencia de accidentes se centran en la clasificación binaria para prever la probabilidad de que ocurra un accidente dadas ciertas condiciones. En segundo lugar, los Modelos de predicción de la frecuencia de accidentes se utilizan para estimar la cantidad de accidentes que podrían suceder en un área. Finalmente, los Modelos de predicción de la gravedad de los accidentes buscan predecir la seriedad de los accidentes basándose en las características del incidente y las condiciones ambientales. Además, dentro de la metodología de modelado, se encuentran los modelos basados en árboles de decisión y las redes neuronales, cada uno con sus propias ventajas y aplicaciones específicas en el campo de la predicción de accidentes (Ali et al, 2024).

#### *4.2.3.3 Visión por computadora.*

Un sistema de visión computarizada es una tecnología que utiliza algoritmos y software para procesar imágenes o videos capturados por cámaras para analizar y comprender el entorno visual. Este tipo de sistema puede ser utilizado para aplicaciones como el seguimiento de movimientos, la detección de objetos, el reconocimiento facial, la vigilancia y la prevención de lesiones en entornos laborales (Marfia & Roccetti, 2017).

Este enfoque basado en visión se especializa en la clasificación de cuatro tipos de posturas de trabajo ergonómicas durante actividades de ensamblaje en videos: flexión de la cintura, ángulo de rotación de la cintura, altura de los brazos de trabajo y ángulo de flexión/estiramiento de las rodillas. Estas posturas se relacionan con variaciones en la configuración del cuerpo que pueden incrementar el malestar físico y el riesgo ergonómico. Las secuencias de datos visuales capturadas por las cámaras se sincronizan

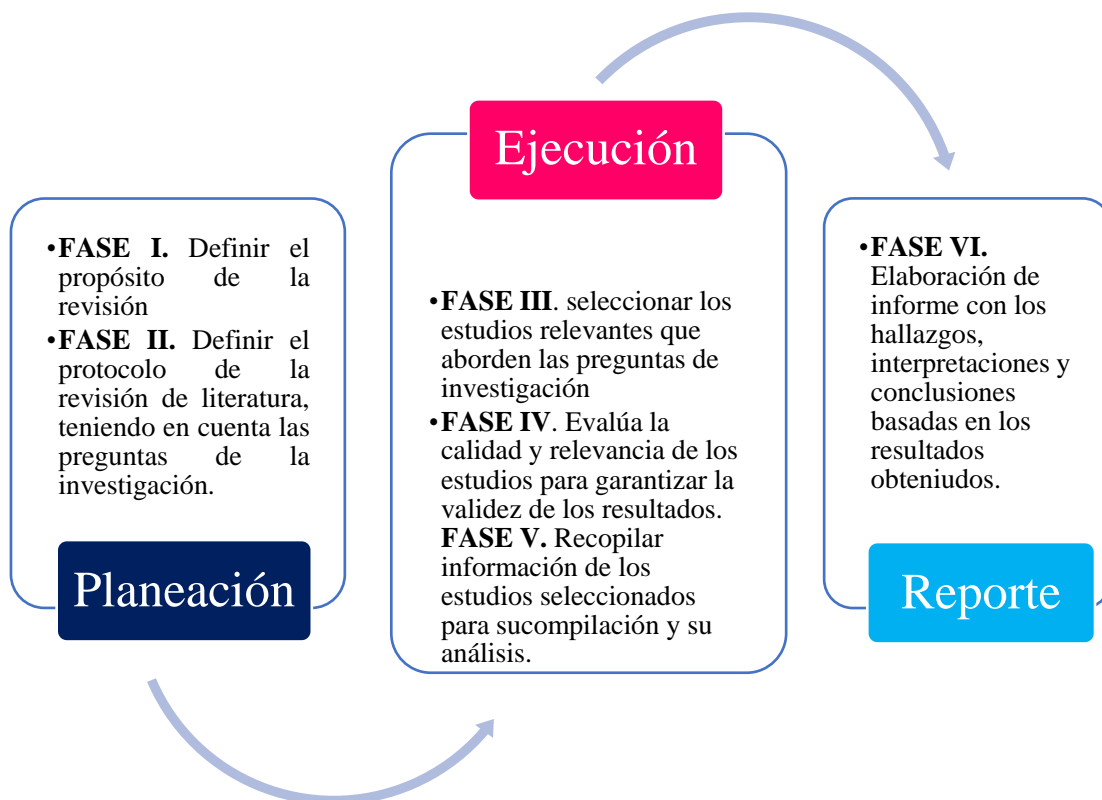
en el tiempo mediante un reloj de referencia común. Este enfoque evalúa la idoneidad ergonómica del rendimiento postural del trabajador, reduciendo así el riesgo de tensión física durante las actividades laborales (Papoutsakis, 2022).

## 5. Metodología

La metodología utilizada para examinar y comprender las Tecnologías basadas en Inteligencia Artificial (IA) en el contexto de la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, fue la propuesta por (Tranfield et al, 2003) que aborda la planificación, ejecución, y la posterior presentación y difusión de los resultados como pasos fundamentales del proceso (ver **Figura 4**).

### Figura 4.

*Metodología del estado del arte*



A continuación, en la **Tabla 4** se detallan las actividades que se desarrollaron en cada fase, las cuales funcionaron como base para las etapas siguientes.

**Tabla 4.***Desarrollo del estado del arte*

Objetivos específicos	Actividades
Realizar una revisión sistemática de literatura científica para reconocer las aplicaciones de Inteligencia Artificial que fortalecen la Seguridad y Salud en el Trabajo dentro del sector empresarial.	<b>ETAPA I: Planeación</b>
	<b>Fase I</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir la pertinencia de la revisión de la revisión de literatura en el ámbito de la ingeniería industrial</li> </ul>
	<b>Fase II</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar las interrogantes de investigación.</li> <li>• Establecer los términos clave y los criterios para seleccionar o excluir información, guiando así la exploración de datos.</li> <li>• Formular las ecuaciones de búsqueda</li> </ul>
	<b>ETAPA II: Ejecución</b>
	<b>Fase III</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir las categorías y las subcategorías de clasificación de los artículos seleccionados</li> </ul>
<b>ETAPA III: Reporte</b>	
Identificar las tendencias sobresalientes de Inteligencia Artificial en Seguridad y Salud en el Trabajo con aplicación en las empresas, a través del análisis de las aplicaciones de IA en términos de eficacia, ventajas, desventajas y relevancia con el propósito de disminuir riesgos y crear espacios laborales más seguros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer las tendencias tecnológicas se están aplicando mundialmente en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo para identificar los dispositivos tecnológicos que proporcionan más seguridad y eficiencia en entornos laborales.</li> </ul>
Analizar los resultados de la revisión sistemática permitiendo mostrar los avances, usos y aplicaciones de las tendencias en	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar cómo la integración de la inteligencia artificial puede mejorar la seguridad laboral en los entornos productivos relacionados con construcción, minería, manufactura y salud.</li> </ul>

Objetivos específicos	Actividades
<p>tecnologías basadas en AI en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.</p> <p>Elaborar un artículo científico sobre los resultados obtenidos en la investigación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizar la información de manera coherente y estructurada para presentar los resultados de manera clara y comprensible.</li> <li>• Redactar una introducción que contextualice la investigación, destaque la importancia de las tendencias en tecnologías basadas en IA y presente el objetivo del artículo.</li> <li>• Detallar los avances, usos y aplicaciones de las tendencias en tecnologías basadas en IA en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, respaldando la información con datos concretos y ejemplos relevantes.</li> <li>• Analizar las implicaciones prácticas de los resultados, destacando cómo estas tendencias podrían ser implementadas en entornos laborales y qué beneficios podrían derivarse.</li> </ul>

### 5.1 Propósito de la revisión de literatura

Esta investigación es un proyecto de graduación en Ingeniería Industrial que se originó al identificar la problemática de altos índices de siniestralidad laboral y las oportunidades de mejora en SST en las organizaciones mediante tecnologías basadas en Inteligencia Artificial. Estos temas son pertinentes para ser explorados desde una perspectiva académica para proporcionar información a profesionales o empresarios interesados en el área de SST. El enfoque principal es el reconocimiento de Tecnologías basadas en Inteligencia Artificial aplicadas a la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, con el propósito de comprender su impacto tanto en la reducción de incidentes laborales como en la eficiencia de las organizaciones.

Teniendo en cuenta que el plan de estudios del pregrado de Ingeniería Industrial abarca áreas como Seguridad y Salud en el Trabajo, así como temáticas relacionadas con la gestión tecnológica y la innovación empresarial, se consideró que esta investigación puede aportar al descubrimiento de nuevas direcciones de estudio y a su implementación efectiva en contextos organizativos.

### ***5.1.1 Pertinencia del estado del arte.***

De acuerdo con la consultora McKinsey las compañías a nivel global siguen expandiendo el uso de esta tecnología, experimentando un crecimiento estimado del 25% en 2019. De acuerdo con sus investigaciones, en el 2019 el 58% de las organizaciones en todo el mundo incorporaron al menos una nueva capacidad o herramienta de Inteligencia Artificial, en comparación con el 47% registrado en 2018 (It Trends, 2020).

Actualmente, las grandes empresas están incorporando *cobots* y *chatbots*. Existen imponentes robots en entornos industriales, dedicados a la construcción de piezas y ensamblaje de automóviles, donde antes predominaban cadenas de montaje supervisadas por humanos, ahora estas enormes máquinas robóticas se han convertido en la fuerza motriz. Los *collaborative robots*, conocidos como *cobots*, han sido integrados en entornos fabriles y almacenes, colaborando estrechamente con los seres humanos. Un ejemplo de esta tendencia es Amazon, que ha implementado 100,000 *cobots* con inteligencia artificial integrada, logrando reducir el tiempo de entrenamiento de los trabajadores a menos de dos días. Además, empresas como Airbus y Nissan también han adoptado *cobots* para agilizar la producción y mejorar la eficiencia en sus operaciones (Moore, 2020).

Por otro lado, el *chatbot*, potenciado por Inteligencia Artificial, representa una herramienta avanzada capaz de manejar un considerable porcentaje de consultas básicas típicas en los servicios de atención al cliente. Esto permite a los empleados que trabajan en estos servicios telefónicos enfocarse en inquietudes más complejas. Un ejemplo es el *chatbot* de conversación llamado Cami, utilizado por Dixons Carphone, que resuelve dudas básicas de los consumidores en la página web de Curry a través de Facebook Messenger. Además, Morgan Stanley ha proporcionado a 16,000 de sus asesores financieros algoritmos de aprendizaje automático para automatizar algunas tareas rutinarias (Moore, 2020).

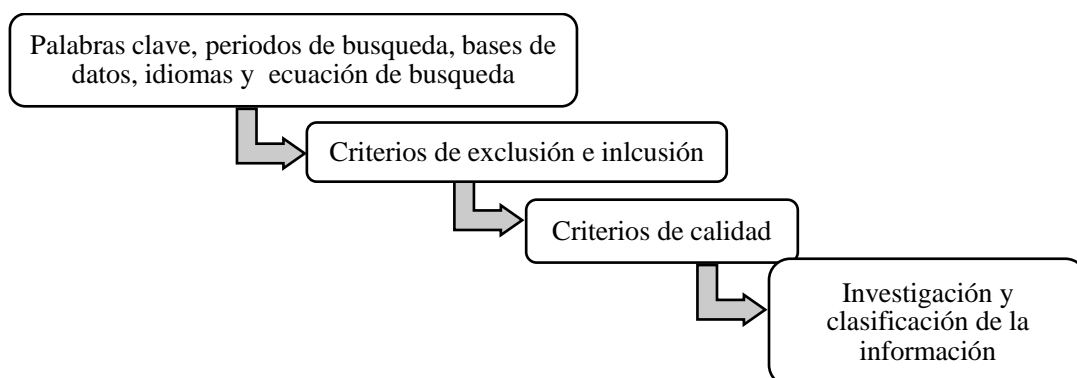
La implementación de la Inteligencia Artificial (IA) en la prevención de accidentes laborales tiene varios beneficios. En primer lugar, la IA puede ayudar a identificar situaciones potenciales de riesgo o conductas indebidas de los trabajadores a través de la obtención de datos y su tratamiento algorítmico, lo que conlleva a una mayor protección y una disminución de situaciones peligrosas en el entorno empresarial. Además, la IA puede permitir una anticipación a la exposición al riesgo de accidentes que puedan sufrir los trabajadores y, por tanto, poder evitarlos (Noguera, Endara, & Moreira, 2022).

### ***5.1.2 Protocolo de la revisión de literatura***

Al llevar a cabo la revisión preliminar sobre las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial y su aplicación en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, se estableció un objetivo general y unos objetivos específicos para lograr el propósito de la investigación. Además, se delineó el alcance del proyecto y se formularon las actividades necesarias para su ejecución teniendo en cuenta la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las tendencias predominantes de tecnologías basadas en Inteligencia Artificial y sus respectivas aplicaciones en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)?

### **Figura 5.**

#### *Protocolo de la revisión de la literatura*



En la **Tabla 5** los términos fundamentales que fueron considerados al definir las palabras clave para la revisión.

**Tabla 5.**

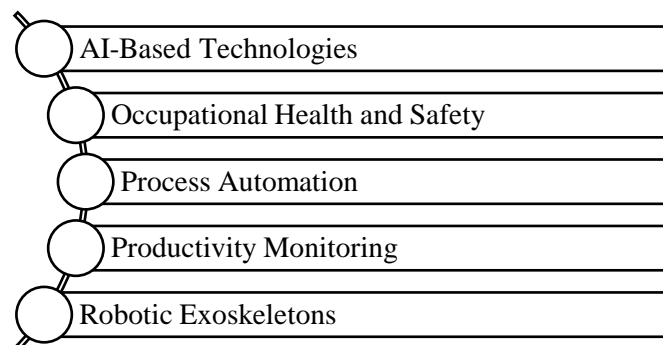
*Términos clave*

Termino claves en español	Termino clave en inglés	Conceptos relacionados con los términos clave.
Tecnologías basadas en Inteligencia Artificial	AI-Based Technologies	Automatización, Machine Learning, Algoritmos
Seguridad y Salud en el Trabajo	Occupational Health and Safety	Prevención de Riesgos, Salud Laboral, Normativas
Exoesqueletos Robóticos	Robotic Exoskeletons	Asistencia Física, Ergonomía, Mejora del Rendimiento
Monitoreo de la Productividad	Productivity Monitoring	Seguimiento de Desempeño, Evaluación Continua, Feedback
Automatización de Procesos	Process Automation	Eficiencia Operativa, Reducción de Tareas Repetitivas

Luego, se eligieron las palabras clave y se modificaron sus términos y operadores booleanos con el objetivo de mejorar la precisión de la búsqueda.

**Figura 6.**

*Palabras clave*



Posteriormente, se creó la fórmula de búsqueda mediante la combinación de los términos clave, utilizando operadores booleanos (AND y OR) y paréntesis para establecer relaciones y prioridades entre los términos. Este enfoque se utilizó para refinar y ajustar la búsqueda, permitiendo especificar mejor los criterios y obtener resultados más relevantes. A continuación, se observa la ecuación de búsqueda diseñada para cada base de datos seleccionada.

**Tabla 6.**

*Ecuaciones de búsqueda*

<b>Ecuación de búsqueda en SCOPUS</b>
("AI" OR technology) AND ("workplace safety" OR "occupational health") OR (automation OR robotic OR process OR "workplace safety" OR "occupational safety")
<b>Ecuación de búsqueda en Web of Science</b>
("AI" AND "technology") AND ("occupational health" OR "workplace safety") OR ("automation" OR "robotic" OR "process")

Después, se establecieron los requisitos que debían cumplir los artículos para ser considerados, tanto en términos de inclusión como de exclusión, además de evaluar la calidad de los documentos para filtrar aquellos que ofrecieran información pertinente y alineada con los objetivos de la investigación actual. Los criterios de inclusión fueron organizados en cuatro categorías distintas.

**Tabla 7.**

*Categorías de clasificación de los artículos*

<b>Categoría</b>
Artículos que aborden temas relevantes y estén comprendidos en el periodo establecido.
Textos centrados en tecnologías de inteligencia artificial aplicadas a la seguridad y salud en el trabajo.

---

Documentos enfocados en casos de éxito de la aplicación de tecnologías basadas en IA en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo.

---

Documentos que mencionen la medición de los resultados de la aplicación de tecnologías basadas en IA para mejorar la seguridad y la salud en el trabajo.

---

**Tabla 8.**

*Criterios de inclusión y exclusión*

<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
Artículos de las bases de datos Scopus y Web of science enfocadas en tecnologías basadas en inteligencia artificial y enfocadas al ámbito de la seguridad y salud en el trabajo. En Scopus la búsqueda se filtró desde el año 2018 hasta el 2024 y en Web of Science se buscó desde el 2020 al 2024 gracias al gran número de artículos disponibles.	Artículos publicados en Scopus antes del 2018 y en Web of science antes del 2020 que no estén enfocados tecnologías basadas en inteligencia artificial
Artículos descriptivos sobre tecnologías basadas en inteligencia artificial para aplicar en el ámbito empresarial	Artículos que no proporcionen una descripción detallada de tecnologías basadas en inteligencia artificial para su aplicación en el ámbito empresarial.
Artículos que indiquen casos de éxito sobre la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial para mejorar la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en las empresas.	Artículos que no presenten casos de éxito en la implementación de tecnologías de inteligencia artificial para mejorar la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en las empresas
Artículos que aborden la medición de resultados y los beneficios de aplicar tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo.	Artículos que no traten la medición de resultados ni los beneficios derivados de la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo

## **5.2 Selección de los artículos con mayor relevancia**

### **5.2.1 identificación de artículos**

Al aplicar la ecuación de búsqueda en Scopus y los criterios de exclusión e inclusión correspondientes se obtuvieron 107 artículos de acceso abierto que estuvieron limitados a las áreas de ingeniería, salud, negocios, administración y contabilidad. Los

cuales incluyeron las siguientes palabras claves: Occupational Risks, Workplace, Occupational Health.

Por otro lado, al implementar la ecuación de búsqueda en Web of Science filtrando documentos desde el 2023 hasta el 2024 en las categorías de ingeniería multidisciplinaria, ingeniería industrial, ingeniería de manufactura y ciencias multidisciplinarias. En esta base de datos se observó que algunos autores han participado en la escritura de más de 30 documentos, por lo cual, se filtró la ecuación a autores que figuran en más de 10 artículos para hacer énfasis que los autores que más han desarrollado la temática.

### ***5.2.2 Evaluación de la calidad de los documentos***

En Scopus, al examinar el título, resumen y conclusiones de los artículos, se logró evaluar la calidad del documento, recuperando 35 artículos durante la búsqueda, además, se identificaron 2 artículos adicionales al seguir sus citas. Respecto a la búsqueda en Web of Science eligieron 25 artículos que son los que más se ajustaron al tema de la investigación, más 3 artículos que se obtuvieron al revisar la bibliografía. La información de los artículos obtenidos se organizó en subcategorías, como se detalla a continuación.

#### **Figura 7.**

##### *Subcategorías de la información*

<b>Subcategoría</b>
Documentos que evidencian las tendencias de tecnologías de inteligencia artificial aplicadas en SST
Recursos necesarios para la aplicación de tecnologías basadas en inteligencia artificial en el área de SST en las organizaciones
Resultados de la aplicación de tecnologías basadas en inteligencia artificial en el área de SST en las organizaciones

### ***5.2.3 Compilación de datos***

Los documentos se ordenaron sistemáticamente a través de una hoja de cálculo de Excel (Apéndice A). Esto facilitó la extracción y selección de los artículos de acuerdo con los criterios predefinidos.

### **5.3 Divulgación de la información.**

En esta fase, se expone la información más relevante, la cual se compiló en los capítulos “tendencias tecnológicas basadas en inteligencia artificial (AI)” y “aplicación de tecnologías que incorporan IA en entornos laborales para gestionar la SST en las organizaciones” y posteriormente se redactó un artículo que pueda ser publicable en una revista académica. Este escrito aborda la información recopilada durante la investigación, así como las conclusiones pertinentes relacionadas con la temática.

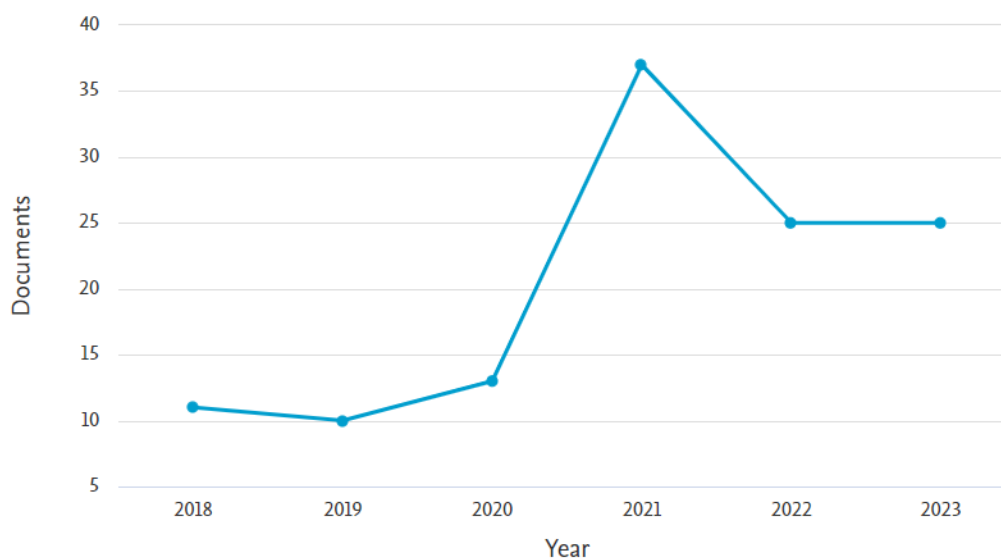
## 6. Resultados de la revisión

### 6.1 Análisis bibliométrico

Se realizó el análisis bibliométrico para comprender la extensión, el impacto y las relaciones entre las diversas contribuciones científicas. A continuación, se observan patrones, tendencias y conexiones sobre las publicaciones científicas del tema investigado. Desde la **Figura 8** hasta la **Figura 15** se observa el análisis bibliométrico para los artículos científicos obtenidos en Scopus y desde la **Figura 16** hasta la **Figura 21** se observa el análisis para la información obtenida en Web of Science.

#### Figura 8.

*Artículos publicados por año*



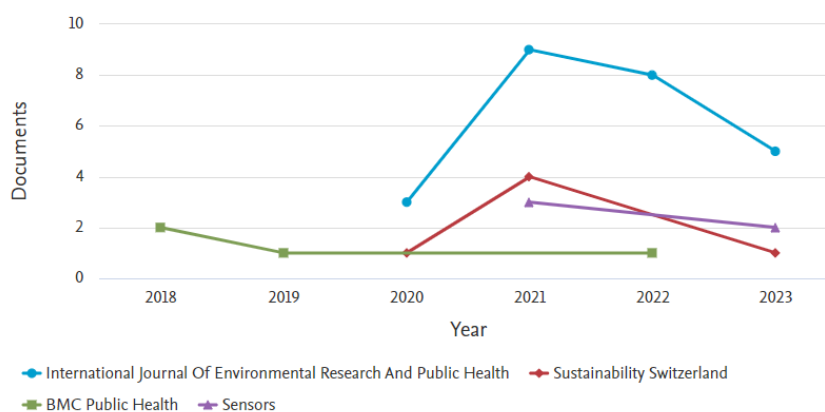
*Nota.* La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Scopus.

Se observó que desde el 2019 las tecnologías enfocadas en contribuir a la Seguridad y Salud en el Trabajo ha aumentado considerablemente hasta el año 2021, donde superó 35 publicaciones por año; sin embargo, en el 2022 se identificó una

disminución notable del número de artículos publicados relacionados con tecnología en SST, reducción que se mantuvo constante hasta el año 2023.

### Figura 9.

*Artículos publicados por año por recurso*

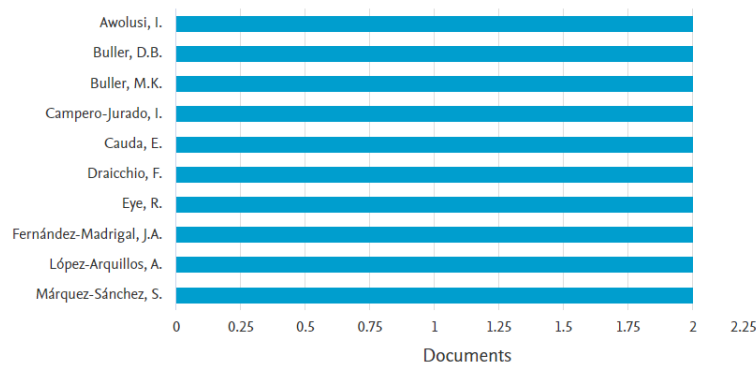


**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Scopus.

Se observó que el recurso con mayor número de publicaciones desde el 2020 de International Journal of Environmental Research and Public Health, el cual superó considerablemente a los demás recursos en los años 2021, 2022 y 2023. Por otro lado, BMC Public health fue el único recurso que publicó artículos en el 2018 y 2019, seguido por otros tres recursos que empezaron a publicar desde el 2020 y por Sensor que solo ha publicado desde 2021 hasta 2023. Este panorama refleja la dinámica temporal y la variedad de recursos que han influido en la construcción del conocimiento en este campo específico

**Figura 10.**

*Artículos publicados por autores*

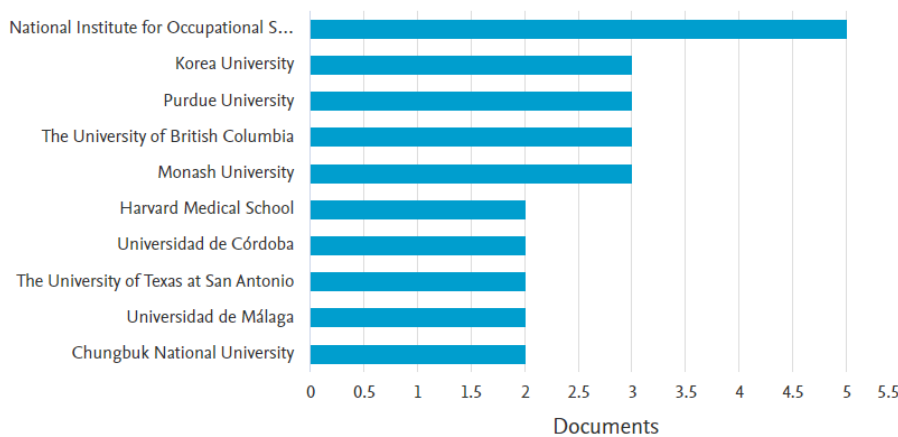


**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Scopus.

Se observó que 10 autores han dedicado su esfuerzo a la publicación de 2 artículos cada uno. Este compromiso constante con la investigación denota no solo la prolificidad individual de estos investigadores, sino también su contribución sustancial al tema investigado. Estos autores, al destacarse con múltiples aportes, emergen como pilares clave en la construcción y evolución del conocimiento en la temática analizada.

**Figura 11.**

*Documentos por afiliación*

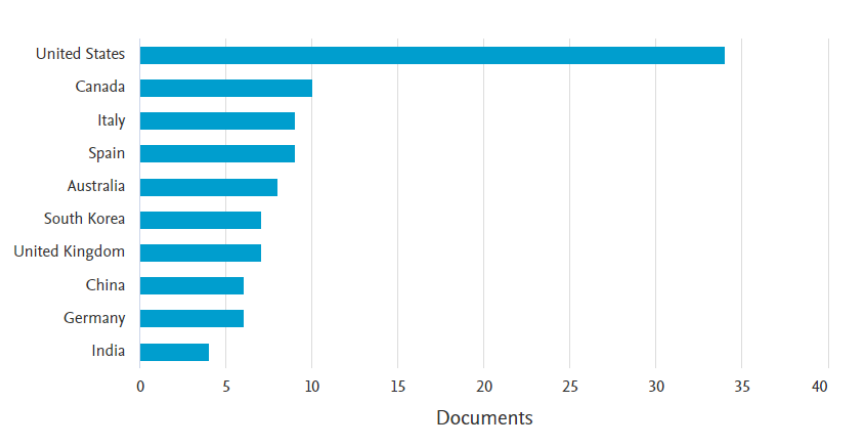


**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Scopus.

La entidad líder en la investigación de la temática es National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH), destacándose con notable influencia en la temática. Este liderazgo se ve respaldado por la presencia de otras 9 Instituciones de Educación Superior (IES), entre las cuales resaltan dos universidades hispanohablantes, una ubicada en Argentina y otra en España. Este hallazgo indica la diversidad geográfica de las contribuciones y también el papel crucial que desempeñan instituciones de habla hispana en la escena científica internacional.

### Figura 12.

#### *Investigaciones por país*

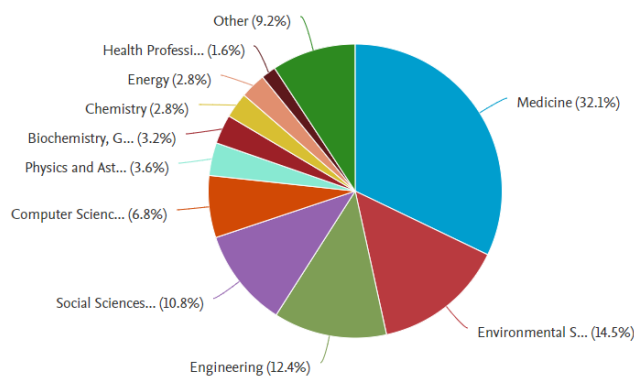


**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Scopus.

Estados Unidos destaca como líder indiscutible en la producción científica, encabezando la lista con aproximadamente 35 artículos. Este dominio se refleja no solo en la cantidad, sino también en la influencia significativa que ejerce en el ámbito de la investigación. Detrás de este coloso académico, naciones como Canadá, Italia, España y Australia emergen como destacados contribuyentes, añadiendo una diversidad de perspectivas y enfoques al conocimiento científico global.

**Figura 13.**

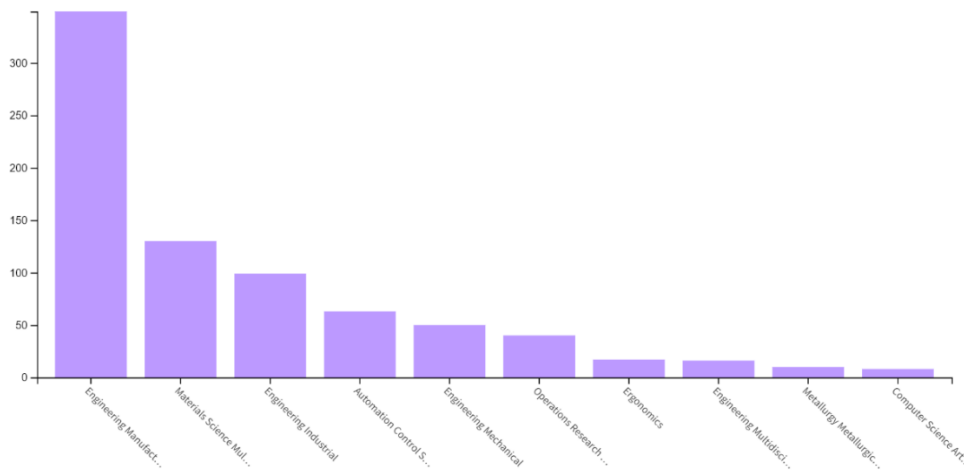
*Artículos por área de conocimiento*



**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Scopus.

El análisis bibliométrico indica que los artículos identificados se encuentran en un campo multidisciplinario. Entre las disciplinas destacadas, la medicina es como un pilar fundamental, evidenciando la importancia de la investigación en salud en este contexto. Las ciencias ambientales también ocupan un lugar relevante, resaltando la interconexión entre la salud humana y el entorno laboral. Además, la presencia significativa de la ingeniería sugiere la aplicación de enfoques tecnológicos y soluciones prácticas en la investigación. Respecto a las ciencias sociales, estas aportan una dimensión humana y contextual a la comprensión de los temas abordados, mientras que las ciencias computacionales revelan la creciente influencia de la tecnología en la investigación científica.

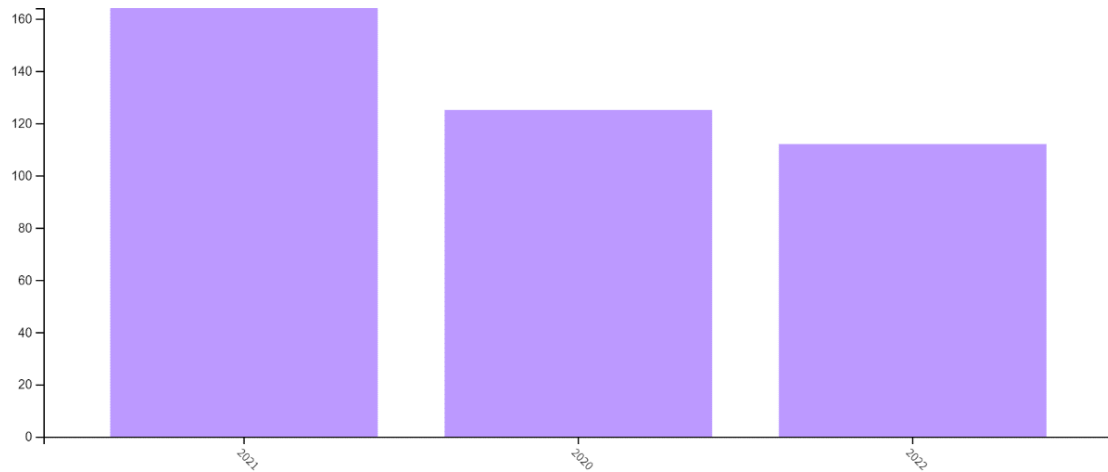
Este panorama diverso refleja la complejidad y la interdependencia de diversas disciplinas en la exploración de temas relacionados, subrayando la necesidad de enfoques integrados para abordar cuestiones multidimensionales en la interfaz de la salud, el medio ambiente y la tecnología.

**Figura 14.***Área de conocimiento*

**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Web of Science

Se observó la incidencia de la ingeniería de manufactura, con más de 300 artículos.

Esta gran cantidad refleja la importancia y la amplitud de la investigación en este campo específico de la ingeniería, destacando la diversidad de temas y avances que se han explorado. Las ciencias multidisciplinarias también emergen como una fuerza significativa, contribuyendo con casi 150 artículos. Esta combinación de disciplinas refleja la naturaleza compleja y diversificada de los temas abordados, donde la convergencia de distintos campos del conocimiento enriquece la comprensión y aplicación de los conceptos. Por otro lado, la ingeniería industrial muestra una presencia considerable, con cerca de 100 documentos. Este enfoque específico dentro de la ingeniería resalta su papel fundamental en la optimización de procesos y sistemas, contribuyendo a la eficiencia y efectividad de la seguridad y salud en el trabajo en diversos entornos industriales.

**Figura 15.***Publicaciones por año*

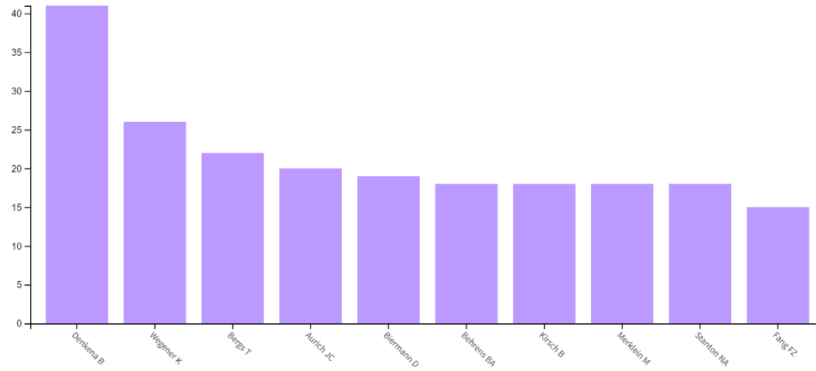
**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Web of Science

Los números revelados por el análisis bibliométrico de Web of science indican una notable productividad en los años recientes. En el 2021, se registraron un total de 160 artículos, marcando un año de actividad significativa y constante en la producción científica. El año anterior, en el 2020, se observó una cifra considerable de 120 artículos, indicando una continuidad en la contribución a la investigación en ese periodo.

Igualmente, en el año 2022 la producción fue alta, con más de 100 artículos ya identificados. Esta cifra sugiere una tendencia positiva y una vigorosa actividad investigativa que se mantiene en ascenso, consolidando la posición del campo en cuestión como un área de interés y desarrollo continuo. Estos números no solo reflejan la cantidad, sino también la consistencia en la generación de nuevo conocimiento, destacando la importancia y el impacto continuo de la investigación en el ámbito específico analizado.

**Figura 16.**

*Publicaciones por autor*

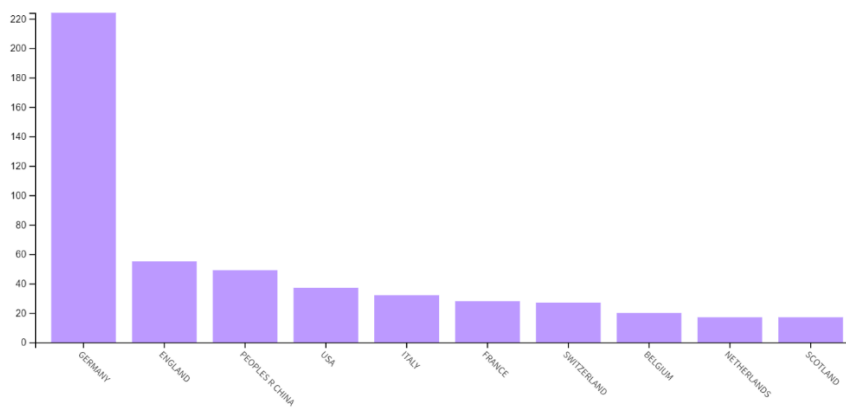


**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Web of Science

El análisis bibliométrico indica una destacada participación de algunos autores, quienes han demostrado un nivel significativo de producción científica. Al considerar autores que han participado en más de 10 publicaciones, se observa que algunos alcanzan cifras notables, superando incluso las 40 contribuciones. Esta cifra ejemplifica un gran compromiso con la investigación y un impacto sustancial en el ámbito estudiado.

**Figura 17.**

*Publicaciones por país*

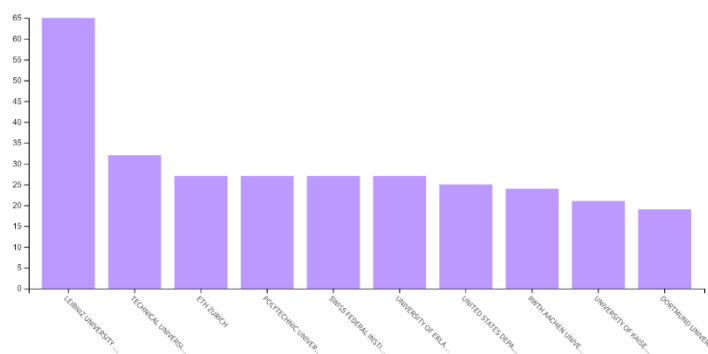


**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Web of Science

El análisis bibliométrico indica que Europa lidera en la cantidad de publicaciones, siendo Alemania el país preeminente con una destacada cifra de 220 artículos. Inglaterra sigue de cerca, destacándose con 60 publicaciones, lo que confirma la sólida contribución del Reino Unido en la investigación científica en la temática analizada. Además, la presencia significativa de China y Estados Unidos subraya la participación global en este campo, con estos dos países desempeñando un papel importante en la producción científica.

### Figura 18.

#### *Afiliación de las publicaciones*



**Nota.** La imagen fue obtenida del análisis de resultados de Web of Science

Se observa que las IES están jugando un papel destacado en la producción científica, siendo las principales contribuyentes en términos de la cantidad de artículos. Este hallazgo muestra el compromiso y la dedicación de las instituciones académicas en la generación de conocimiento en el campo estudiado. La investigación llevada a cabo por universidades no solo impulsa el avance del conocimiento, sino que también contribuye a la formación de nuevos investigadores y al enriquecimiento del ámbito académico en general.

Posteriormente, de los artículos científicos seleccionados se identificaron las tendencias tecnológicas basadas en IA que se están aplicando a nivel mundial para

fortalecer a gestión en SST y así reducir el porcentaje de siniestros laborales. Así mismo, se consultaron las tecnologías que hacen parte de estas tendencias y proporcionan condiciones laborales más seguras en los sectores de la construcción, minería, manufactura y salud.

## **6.2 Tendencias tecnológicas basadas en inteligencia artificial (IA)**

Las tendencias tecnológicas basadas en inteligencia artificial (IA) están transformando significativamente el campo de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), ofreciendo soluciones avanzadas para mejorar la protección de los trabajadores y optimizar las operaciones. Entre estas tendencias, destacan el monitoreo en tiempo real y la respuesta automática, el mantenimiento predictivo, los equipos de protección personal (EPP) inteligentes, el análisis de incidentes y la prevención de riesgos, así como el uso de exoesqueletos.

Por ejemplo, "The Internet of Medical Things (IoMT)" permite interacciones eficientes entre dispositivos médicos y dispositivos de computación, facilitando el monitoreo continuo de las condiciones de salud de las personas en tiempo real. Esto se logra mediante el uso de diversos dispositivos portátiles y sensores que pueden detectar niveles de estrés en el lugar de trabajo para prevenir problemas de salud como enfermedades cardiovasculares o trastornos psiquiátricos (Alsemmeiri et al., 2023).

Así mismo, gracias a la IA, es posible realizar un seguimiento continuo de las condiciones laborales mediante sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real. Estos sistemas detectan cambios en el entorno, como variaciones en la temperatura, humedad, o presencia de gases tóxicos, y pueden activar respuestas automáticas, como alarmas o ajustes en los sistemas de ventilación. Esta capacidad para reaccionar de manera

inmediata ante condiciones peligrosas ayuda a prevenir accidentes y protege la salud de los trabajadores.

Actualmente, existen sensores de bajo costo y microcontroladores dentro de un sistema basado en el Internet de las Cosas (IoT) para supervisar las condiciones ambientales en laboratorios. Este sistema permite la recolección de datos en tiempo real sobre la calidad del aire interior (IAQ) y otros parámetros ambientales, lo que es crucial para mantener el entorno deseado (Marques & Pitarma, 2019).

La IA también ha revolucionado el mantenimiento de equipos en el entorno laboral. Mediante el análisis de datos históricos y la detección de patrones, los algoritmos predictivos pueden anticipar fallos en la maquinaria antes de que ocurran, permitiendo a las empresas realizar el mantenimiento necesario en el momento óptimo. Esto no solo reduce el tiempo de inactividad, sino que también minimiza el riesgo de accidentes relacionados con el fallo de equipos.

Un ejemplo de esto es el uso de sensores avanzados, como los sensores de Time-of-Flight (TOF) y acelerómetros, para el monitoreo estructural. Estos sensores permiten la recolección de datos en tiempo real sobre el comportamiento dinámico de las estructuras, lo que puede facilitar la implementación de reparaciones y el soporte estructural, contribuyendo indirectamente a un entorno laboral más seguro porque reduce potenciales fallos y permite actuar a tiempo y así evitar accidentes (Khoa et al., 2023).

Los EPP inteligentes son otra tendencia emergente impulsada por la IA. Estos dispositivos, como cascos, guantes y gafas, están equipados con sensores que monitorizan las condiciones del entorno y la salud del trabajador, proporcionando alertas en tiempo real cuando se detectan riesgos. Un casco inteligente puede detectar niveles peligrosos de ruido o calor, alertando al usuario para que tome las medidas necesarias. Los enfoques

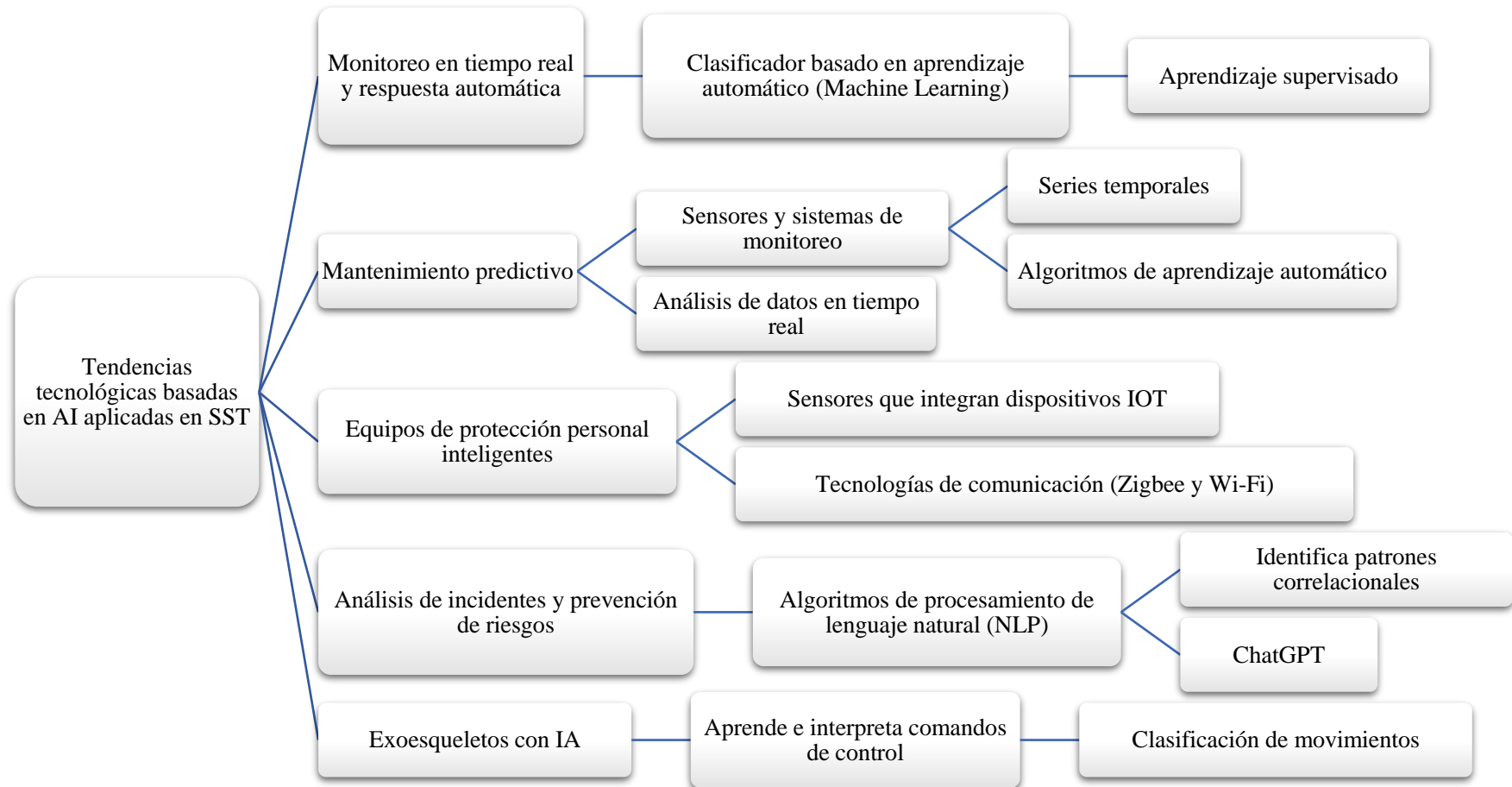
más recientes emplean la adquisición de imágenes en tiempo real a través de cámaras para identificar el uso de EPP y evaluar si se están utilizando correctamente. Por ejemplo, se utilizan algoritmos de visión por computadora, como Faster R-CNN y YOLOv3, para detectar la ausencia de EPP, como cascos y chalecos de seguridad, en sitios de construcción. Estos sistemas pueden activar alarmas cuando se detecta que un trabajador no está usando el equipo adecuado (Pisu et al., 2024).

La IA facilita el análisis de datos recopilados durante incidentes laborales para identificar patrones y causas subyacentes. A través de técnicas de minería de datos y aprendizaje automático, se pueden prever riesgos futuros y desarrollar estrategias de mitigación más efectivas. Por otro lado, los exoesqueletos potenciados por la IA, están diseñados para reducir la carga física en trabajos que implican levantamiento de cargas pesadas o posturas incómodas. Estos dispositivos asisten a los trabajadores, disminuyendo el esfuerzo necesario y, por lo tanto, reducen el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Al integrarse con sistemas de IA, los exoesqueletos pueden adaptarse en tiempo real a las necesidades del usuario, ofreciendo un soporte más personalizado y eficiente. La inteligencia artificial puede ayudar en el diagnóstico y la selección de parámetros funcionales, la combinación de materiales, y la optimización del control y las propiedades de utilidad, lo que amplía las posibilidades de utilizar exoesqueletos personalizados para cada necesidad (Rojek et al., 2023).

Estas tecnologías basadas en IA están redefiniendo la manera en que se gestiona la SST, proporcionando herramientas más eficientes para proteger a los trabajadores y mejorar las operaciones de diferentes industrias. A continuación, se mencionan las tendencias actuales de IA aplicadas en seguridad y salud en el trabajo.

**Figura 19.**

*Tendencias tecnológicas basadas en IA aplicadas en SST*



### ***6.2.1 Monitoreo en tiempo real y respuesta automática.***

El monitoreo en tiempo real para clasificar e identificar las actividades de los trabajadores debe realizarse dentro de un marco de tiempo de 4 a 5 segundos (O' Sullivan et al.,2024). Este intervalo se considera suficiente para recopilar muestras adecuadas que sean robustas ante cambios momentáneos en la actividad, como estar de pie antes de recoger un objeto o ensamblar algo. La inteligencia artificial, mediante el uso de clasificadores como el bosque aleatorio (random forest), permite extraer características estadísticas y morfológicas de las actividades de los trabajadores, lo que facilita la identificación y clasificación de estas actividades en tiempo real. Así mismo, el uso de técnicas de análisis explicativo, como SHAP (SHapley Additive exPlanations), proporciona información sobre la importancia de ciertas características y su impacto en la clasificación de cada tarea (O' Sullivan et al.,2024).

Así mismo, la respuesta automática se refiere a la capacidad de un sistema de inteligencia artificial para actuar o generar alertas sin la necesidad de intervención humana inmediata. Este tipo de respuesta es crucial en entornos laborales, ya que permite la identificación y mitigación de riesgos en tiempo real, especialmente en situaciones que pueden llevar a lesiones o problemas de salud, como los síntomas musculoesqueléticos. La respuesta automática se basa en el análisis de datos recopilados continuamente sobre las condiciones de trabajo y la salud de los empleados. Al activar alertas o intervenciones automáticamente, se busca prevenir incidentes y mejorar la seguridad en el lugar de trabajo, lo que contribuye a la salud y bienestar de los trabajadores (Mollaei et al., 2022).

El uso de dispositivos portátiles y sensores conectados permite la supervisión en tiempo real de las posiciones y comportamientos de los trabajadores, lo que ayuda a detectar comportamientos inseguros y a anticipar riesgos. La combinación de drones y software

analítico proporciona herramientas efectivas para la inspección rápida y flexible de los sitios de construcción, permitiendo la identificación y alarma de incidentes inminentes o peligros observables (Newaz et al., 2024).

Actualmente hay dispositivos que se colocan en la ropa de los empleados. Estos dispositivos están diseñados para medir parámetros ambientales como polvo, ruido, radiación ultravioleta, temperatura, humedad y la presencia de gases inflamables. La información recopilada por estos dispositivos se envía de manera encriptada a un servidor en la nube, donde se procesa y se analiza con algoritmos de aprendizaje automático (ML) Este sistema clasifica la información en categorías de riesgo/no riesgo para cada sensor y genera alertas automáticas basadas en reglas fijas que consideran la historia de salud de los empleados, incluyendo enfermedades y síntomas prediagnosticados. Esto permite a las empresas tomar decisiones informadas para mejorar la seguridad laboral y planificar acciones preventivas (Lemos et al., 2024).

La tecnología de visión por computadora permite registrar las actividades de los trabajadores en tiempo real, lo que ayuda a los gerentes de proyectos rastrear la productividad, el progreso y los riesgos de seguridad en el sitio de trabajo. Se han desarrollado estrategias y algoritmos para mejorar la precisión de la detección del EPP, tales como los modelos YOLO (You Only Look Once) y OpenPose para extraer características relacionadas con el EPP y las articulaciones individuales de los trabajadores. Estos enfoques permiten detectar múltiples elementos de EPP, como cascos, mascarillas, gafas de seguridad y arneses (Li et al., 2024).

Por otro lado, la integración del monitoreo en tiempo real con análisis de datos utilizando algoritmos de inteligencia artificial (IA) podría ayudar a identificar tendencias

temporales y fuentes potenciales de exposición a elementos radioactivos, así como predecir fluctuaciones en la exposición. Actualmente se están desarrollando herramientas de análisis automatizado para detectores pasivos, como los detectores de pista alfa (ATDs) y las cámaras de ionización electret (EICs) (Kholopo & Rathebe, 2024)

### ***6.2.2 Mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial***

El mantenimiento predictivo es un enfoque que utiliza datos de diversas fuentes, como sensores y sistemas de monitoreo, para anticipar fallos en equipos y sistemas antes de que ocurran. Este tipo de mantenimiento se centra en la monitorización continua de la condición de los equipos, lo que permite realizar intervenciones proactivas y reducir el tiempo de inactividad, así como extender la vida útil del equipo (Guidotti et al., 2023).

El mantenimiento predictivo (PM) es una estrategia basada en estadísticas y pronósticos, que permite programar el mantenimiento de manera eficiente. Se basa en el monitoreo de equipos a través de series temporales y utiliza algoritmos de aprendizaje automático (ML) para detectar fallas en etapas iniciales, lo cual se logra integrando variables como el error cuadrático medio (MSE) y técnicas de estimación de ingeniería (Jittawiriyankoon & Srisarkun, 2022)

El mantenimiento predictivo se beneficia de la implementación de tecnologías avanzadas como sensores inteligentes y análisis de datos en tiempo real. Estas tecnologías permiten la monitorización continua del entorno de trabajo, lo que ayuda a identificar condiciones que podrían llevar a fallos en el equipo o a situaciones de riesgo. El uso de algoritmos de aprendizaje automático (ML) puede facilitar la modelización predictiva, lo que a su vez puede impulsar el desarrollo de equipos de protección personal inteligentes para prevenir accidentes en el lugar de trabajo (Damilos et al., 2024).

Al permitir la identificación temprana de fallas, el mantenimiento predictivo contribuye a evitar situaciones de emergencia que podrían resultar en accidentes laborales. Por ejemplo, en el sector energético, la implementación de técnicas de mantenimiento en línea (LLMT) mejoran la eficiencia operativa y minimizan el riesgo de accidentes al permitir que el trabajo se realice sin desenergizar las líneas, lo que reduce la necesidad de intervenciones peligrosas en condiciones de alta tensión (Guidotti et al, 2023).

### ***6.2.3 Equipos de protección personal inteligentes***

El uso de EPP inteligentes, como cascos y cinturones, es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores en entornos laborales de alto riesgo, donde los estándares de seguridad pueden ser difíciles de definir o implementar. Estos dispositivos protegen físicamente a los operadores y están diseñados para monitorear su estado y el entorno en tiempo real, lo que permite una respuesta rápida ante situaciones de peligro (Márquez-Sánchez et al., 2021).

El funcionamiento de un sistema de colaboración entre humanos y máquinas que utiliza inteligencia artificial mejora la seguridad en la ubicación y retiro de equipos de protección personal (EPP). Este sistema permite que un "compañero remoto" supervise el proceso desde una ubicación separada, proporcionando retroalimentación auditiva cuando se detecten errores. Se evalúa la precisión del sistema en escenarios predefinidos, donde se monitorea si los pasos del procedimiento se realizan correctamente y si la IA o el compañero remoto identifican errores (Segal et al., 2023).

Existen cascos inteligentes que pueden monitorear variables ambientales como temperatura, humedad y calidad del aire, detectando anomalías potenciales en el entorno de trabajo. Estos cascos tienen la capacidad de alertar a los trabajadores sobre peligros y

monitorear sus signos vitales, lo que permite una vigilancia constante de su salud. Utilizan tecnologías de comunicación como Zigbee y Wi-Fi para transmitir información en tiempo real a un servidor web, que procesa y envía alertas sobre posibles riesgos tanto a los trabajadores como al personal administrativo, ayudando a prevenir accidentes y facilitando una respuesta rápida en emergencias (Campero-Jurado et al., 2020).

Así mismo, la “Smart Mask” es una máscara facial reutilizable que incorpora filtros intercambiables y un módulo de sensores avanzados que integra un núcleo de dispositivo IoT, baterías recargables, radio Bluetooth y sensores vitales que permiten la recopilación en tiempo real de datos sobre la salud del usuario y las condiciones del entorno. La máscara implementa un sistema de alertas basado en reglas que detecta anomalías en la salud del usuario, y con el tiempo, aplica algoritmos más sofisticados para identificar tendencias a largo plazo y adaptar modelos de aprendizaje automático según las condiciones. La Smart Mask puede alertar al usuario sobre peligros potenciales, como fallos del dispositivo o cambios en el entorno, como la presencia de sustancias peligrosas en el aire, lo que es clave para prevenir accidentes y mejorar la seguridad laboral (Hyysalo et al., 2022).

#### ***6.2.4 Análisis de incidentes y prevención de riesgos***

El procesamiento de lenguaje natural (NLP) está transformando la gestión de la seguridad al automatizar tareas como la interpretación de datos textuales y mejorar el bienestar de los trabajadores. En el contexto del análisis de incidentes, el NLP se centra en el análisis sintáctico y semántico, lo que permite identificar patrones y correlaciones dentro de los registros de accidentes, proporcionando información valiosa sobre las causas de los accidentes y facilitando la extracción automatizada de riesgos a partir de las narrativas de incidentes (Smetana et al., 2024).

El análisis de informes de accidentes implica procesos estructurados para identificar las causas de los accidentes y reducir el riesgo de recurrencia. Se han utilizado técnicas de NLP para extraer información relevante y clasificar informes en diversas industrias, como la aviación y el transporte, lo que ayuda a reconocer y eliminar diferentes causas de accidentes (Lee et al., 2023).

El uso de algoritmos de NLP puede mejorar la eficiencia y la precisión en la asignación de códigos de ocupación a partir de respuestas en texto libre, lo que es necesario para evaluar factores de riesgo ocupacionales (Russ et al., 2016). El empleo de algoritmos de procesamiento de lenguaje natural (NLP) ha transformado el análisis de incidentes, permitiendo la clasificación automática de grandes volúmenes de datos textuales relacionados con accidentes. Esto optimiza la extracción de información crucial sobre las causas de los accidentes y los casi accidentes, proporcionando a los gerentes y responsables de la toma de decisiones una comprensión más profunda de los factores de riesgo, lo que les permite implementar medidas preventivas con mayor eficacia (Khan et al., 2024).

Por otro lado, ChatGPT es un ejemplo de procesamiento de lenguaje natural (NLP) de la inteligencia artificial que se centra en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano, el cual puede ser utilizado para analizar datos textuales de diversas fuentes, como artículos científicos, manuales de seguridad e informes de incidentes, para evaluar el nivel de riesgo asociado con sustancias químicas y condiciones físicas peligrosas en el lugar de trabajo. A través de ChatGPT se pueden generar informes comprensivos que resuman los peligros identificados y los riesgos potenciales, así como desarrollar recomendaciones personalizadas para prevenir enfermedades ocupacionales y accidentes, mejorando así la seguridad en el entorno laboral. ChatGPT puede interactuar con los trabajadores para

recopilar datos sobre su exposición a riesgos químicos, físicos y psicológicos, lo que contribuye a una mejor identificación y gestión de riesgos en el lugar de trabajo (Sridi & Brigui, 2023)

### ***6.2.5 Exoesqueletos basados en inteligencia artificial***

Estas tecnologías se están utilizando para reducir el esfuerzo físico en tareas pesadas, disminuyendo así las lesiones musculoesqueléticas. Los exoesqueletos pasivos y activos están diseñados para ayudar a los trabajadores a realizar actividades físicamente exigentes con menos fatiga y malestar, lo que puede reducir el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos (TME) debido a levantamiento manual y manejo de materiales (Botti & Melloni, 2023).

Estos exoesqueletos suelen utilizar un módulo de navegación asistido por IA que se basa en el mapeo y la localización simultáneos (SLAM) habilitados por IoT. Este sistema recibe datos de varios sensores y cámaras que luego los clasifica inteligentemente y genera comandos deseados. Los sensores y las cámaras se utilizan para detectar parámetros como distancia, orientación, velocidad y obstáculos, donde la fusión de datos de estos sensores proporciona retroalimentación continua para el control del exoesqueleto (Jacob et al., 2021).

Los modelos de aprendizaje automático (IA) están revolucionando el diseño de exoesqueletos robóticos para extremidades superiores, facilitando una manipulación intuitiva. Estos dispositivos, compactos, ligeros y sólidos, están diseñados para ofrecer un control natural en la rehabilitación y en entornos ocupacionales. El dispositivo "Smart Handle" se destaca por abordar la necesidad de mecanismos de control más naturales en exoesqueletos, proporcionando trayectorias de posición y orientación esenciales para modelos cinemáticos. Este dispositivo tiene la capacidad de aprender e interpretar diversas

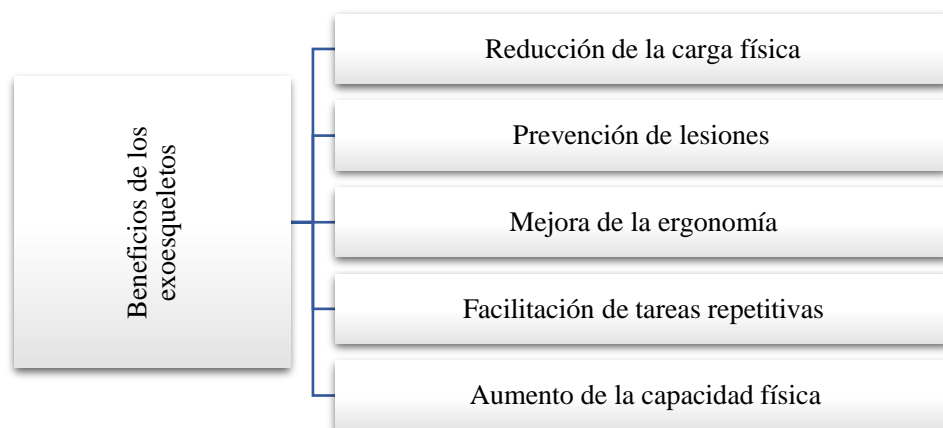
entradas, como comandos de control, beneficiando particularmente a personas con dificultades motoras. Estudios empíricos han demostrado que el "Smart Handle" clasifica movimientos con una precisión superior al 95%, lo que evidencia su adaptabilidad y fiabilidad en múltiples aplicaciones, incluyendo el control de exoesqueletos y robots de ruedas (Berdell et al., 2024).

La combinación de sensores portátiles con sistemas de IA influye en la evaluación de riesgos y en la mejora del diseño ergonómico de entornos y herramientas de trabajo, lo cual beneficia a trabajadores que sufren de patologías o discapacidades. El uso de estas tecnologías previene trastornos musculoesqueléticos al proporcionar datos precisos sobre la carga biomecánica a la que se exponen los trabajadores durante sus actividades laborales (Donisi et al., 2022).

Los beneficios generales de los exoesqueletos en entornos laborales generan los siguientes beneficios para los trabajadores y las organizaciones empresariales.

### Figura 20.

#### *Beneficios de los exoesqueletos*



*Nota.* La información fue adaptada de (Baldassarre et al., 2022).

Los exoesqueletos ocupacionales ofrecen beneficios en el entorno laboral, principalmente en la reducción de la carga física y la mejora de la ergonomía. Al facilitar el levantamiento y transporte de cargas pesadas, disminuyen el esfuerzo en músculos y articulaciones, lo que ayuda a prevenir lesiones musculoesqueléticas y reduce los costos asociados con la atención médica y la pérdida de días laborales. Al adaptarse a la anatomía del usuario, los exoesqueletos mejoran la ergonomía y la comodidad, aumentando la productividad y la satisfacción laboral. Los exoesqueletos también son útiles en tareas repetitivas porque reducen la fatiga muscular y aumentan la eficiencia, permitiendo realizar tareas físicamente exigentes con mayor facilidad. Su diseño versátil los hace aplicables en diversos entornos laborales, como la manufactura, construcción y atención médica (Baldassarre et al., 2022).

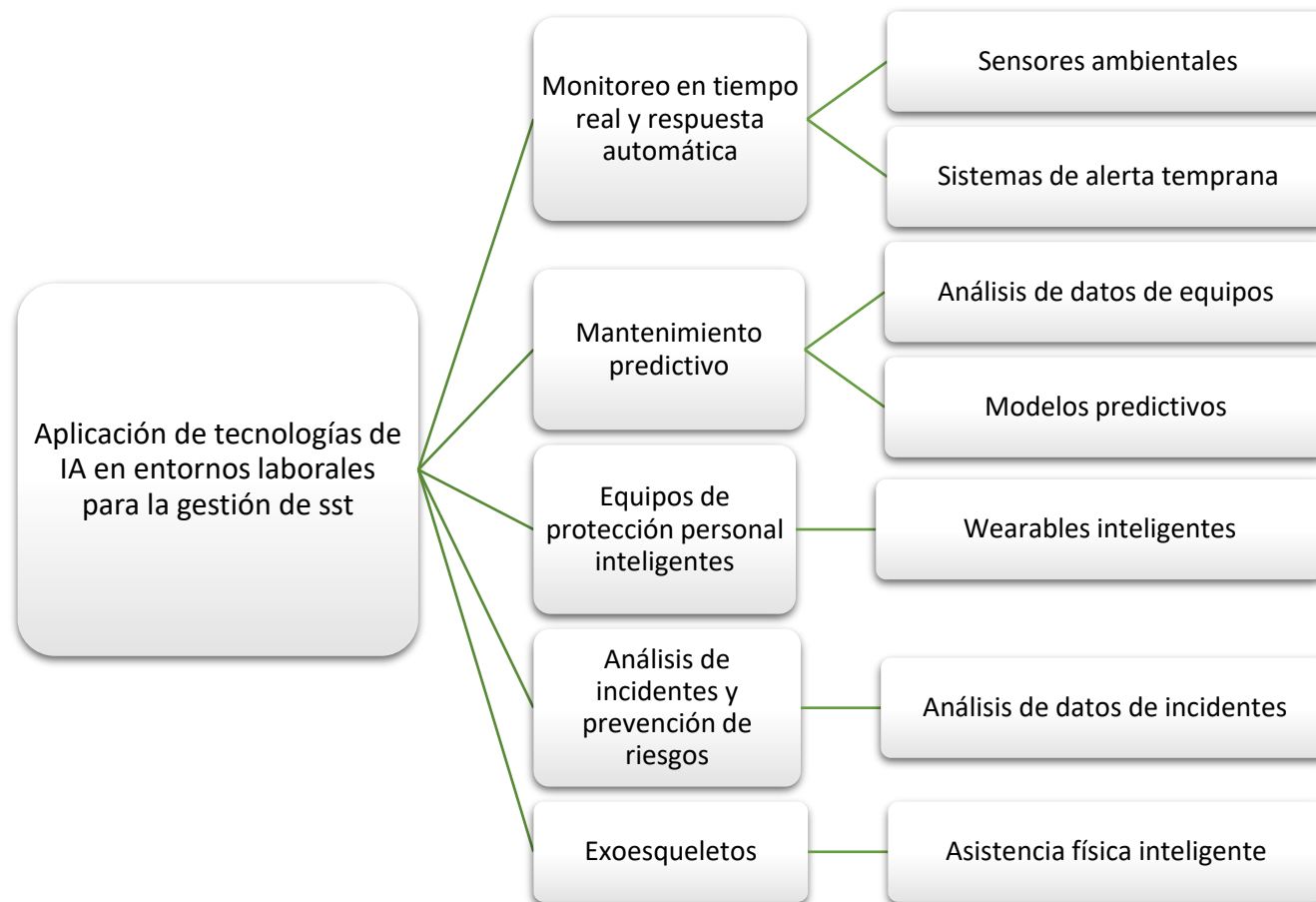
### **6.3 Aplicación de tecnologías que incorporan IA en entornos laborales para gestionar la Seguridad y Salud en el Trabajo en las Organizaciones**

La implementación de tecnologías basadas en Inteligencia Artificial (IA) en entornos laborales ha revolucionado la manera en que las empresas gestionan la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), especialmente en sectores de alto riesgo como la minería, manufactura, construcción y salud. Estas tecnologías optimizan la prevención de accidentes laborales y mejoran la eficiencia en la identificación de riesgos, la respuesta ante emergencias y la toma de decisiones estratégicas para proteger a los trabajadores.

A continuación, en la figura 21 se observan las principales tendencias de tecnologías en IA para fortalecer la SST con sus respectivas aplicaciones más comunes en los sectores económicos que más riesgo laboral conllevan.

**Figura 21.**

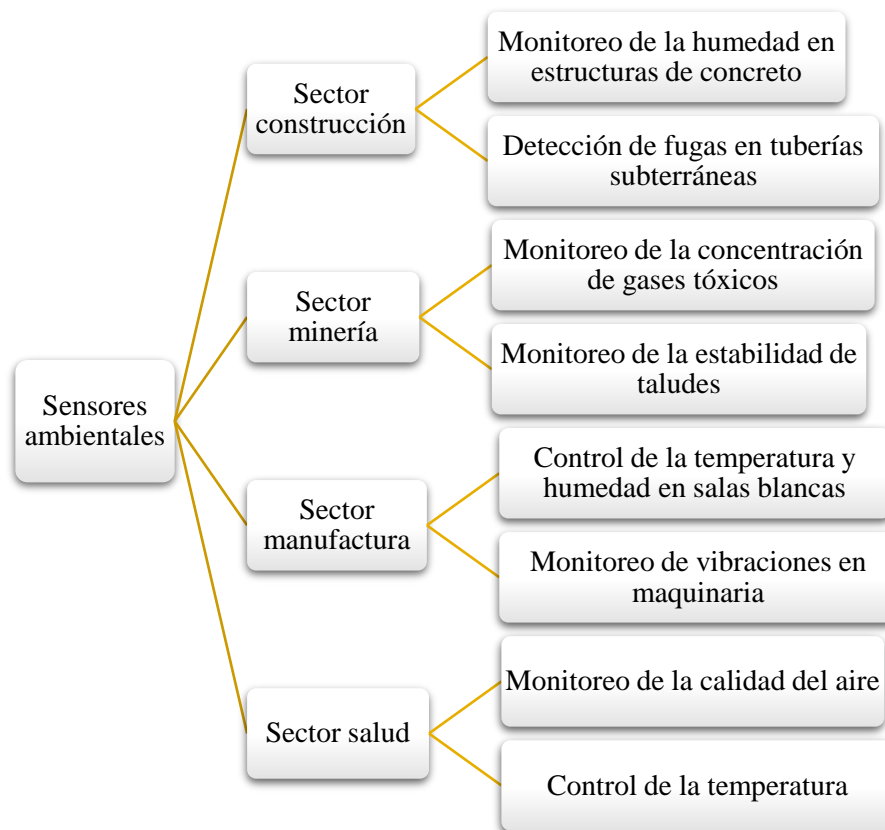
*Aplicación de tecnologías de IA en entornos laborales*



### 6.3.1 Sensores ambientales

**Figura 22.**

*Aplicaciones de sensores ambientales*



#### 6.3.1.1 Monitoreo de humedad.

Avances como el “e-skin multimodal” que funciona como un sistema de sensores avanzados que imita las capacidades sensoriales de la piel humana, pero con funcionalidades adicionales. Está construido con una estructura de capas que incluye materiales como Ecoflex y organohidrogeles, lo que le otorga propiedades mecánicas similares a la piel natural, permitiendo flexibilidad y elasticidad. Este e-skin incorpora múltiples tipos de sensores que pueden detectar diferentes estímulos ambientales, como presión, temperatura, humedad y proximidad de objetos, además de módulos específicos para la detección de gases tóxicos,

como el  $\text{NO}_2$ . Los datos recopilados por estos sensores son procesados por algoritmos de inteligencia artificial, que permiten la clasificación precisa de objetos y la identificación de situaciones críticas. Además, está conectado a un circuito de alarma inalámbrico que permite la transmisión de datos en tiempo real, alertando sobre peligros y facilitando una respuesta rápida en situaciones de emergencia, como misiones de rescate (Li et al., 2024).

#### *6.3.1.2 Detección de fugas subterráneas.*

El sistema de detección de fugas de agua subterráneas, que combina técnicas de inteligencia artificial (IA) y gestión en la nube es un avance significativo en la gestión de recursos hídricos y la seguridad laboral. Este sistema incluye una varilla acústica, un smartphone, y servidores en la nube y locales, que juntos permiten identificar y localizar el sonido de las fugas con alta precisión. Los datos recogidos se clasifican mediante una aplicación móvil y una web, facilitando la tarea incluso a operadores novatos, quienes logran una precisión del 97.83%, superando ligeramente a los expertos, con un 95.56%. Esta tecnología ayuda a minimizar la fatiga y el estrés asociados con la detección manual de fugas, creando un entorno de trabajo más seguro para los empleados (Vanijjirattikhan et al., 2022).

#### *6.3.1.3 Detección de gases tóxicos.*

En el modelo de gestión de residuos habilitado por la inteligencia de las cosas (IoT-SWM), se utilizan sensores para detectar gases tóxicos como el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), el monóxido de carbono (CO) y el metano ( $\text{CH}_4$ ) en los residuos. Estos sensores monitorean los niveles de residuos en los contenedores de residuos y alertan a las autoridades cuando se detectan concentraciones peligrosas de gases, permitiendo una respuesta rápida que reduce los riesgos laborales. Además, el modelo predictivo basado en algoritmos de inteligencia artificial, como el bosque aleatorio, ayuda a predecir cuándo y dónde es probable que ocurran

acumulaciones de residuos y gases tóxicos, mejorando la seguridad y eficiencia en la gestión de residuos urbanos y sostenibles (Mishra et al., 2022).

#### *6.3.1.4 Monitoreo de vibraciones de maquinaria.*

El análisis de vibraciones es una herramienta efectiva para monitorear la salud y el rendimiento de las máquinas, lo que puede contribuir indirectamente a la seguridad laboral al prevenir fallos mecánicos que podrían causar accidentes (Mohd Ghazali & Rahiman, 2021).

La detección temprana de fallos en máquinas rotativas es crucial para la salud y la seguridad de los trabajadores. Los errores en componentes críticos, como rodamientos y engranajes, pueden llevar a fallos inesperados en el sistema, lo que podría resultar en accidentes graves, especialmente en industrias como la minería, donde las fallas de maquinaria pueden causar accidentes fatales. La Inteligencia Artificial de las Cosas (AIoT) para la detección de anomalías en máquinas rotativas a través del monitoreo de vibraciones se puede aplicar empleando un acelerómetro de bajo costo (MPU6050) junto con una Raspberry Pi 4B como dispositivo de borde para capturar señales de vibración. El sistema implementa un modelo de máquina de soporte vectorial (SVM) para la detección efectiva de fallos en tiempo real. (Mian et al., 2023)

#### *6.3.1.5 Monitoreo de la estabilidad de taludes.*

La inteligencia artificial (IA) permite un análisis más preciso y rápido al utilizar modelos que pueden manejar grandes cantidades de datos y ejecutar predicciones a alta velocidad. Esto es fundamental para la implementación de sistemas de advertencia temprana

(EWS), gracias a que la IA puede analizar múltiples factores que afectan la estabilidad de los taludes y prever condiciones peligrosas antes de que ocurran incidentes.

Los modelos de IA, como las redes neuronales artificiales son efectivos en la predicción de fallas de taludes, ayudando a los ingenieros a tomar decisiones informadas y a implementar medidas preventivas adecuadas, mejorando la seguridad del personal y protegiendo la infraestructura y los activos de las operaciones mineras (Kolapo et al., 2022).

#### *6.3.1.6 Monitoreo de calidad del aire.*

La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real puede ayudar a detectar concentraciones de contaminantes gaseosos y, por lo tanto, prevenir accidentes laborales relacionados con la exposición a niveles nocivos de aire contaminado. El monitoreo de la calidad del aire con inteligencia artificial implica la recolección de datos a través de sensores que miden contaminantes como CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, y envían esta información a la nube. Antes de aplicar los algoritmos, es necesario limpiar y preprocesar los datos para asegurar su precisión. Luego, se utilizan técnicas de aprendizaje automático, como la regresión lineal y los árboles de decisión, para predecir las concentraciones futuras de contaminantes. Finalmente, el sistema puede generar alertas en tiempo real cuando se detectan niveles peligrosos, ayudando a proteger la salud pública y prevenir accidentes laborales (Rahardja et al., 2023).

Los sensores para medir la calidad del aire, cuando se integran con tecnologías de AIoT (Inteligencia Artificial de las Cosas), permiten un monitoreo más sofisticado y completo de la contaminación del aire. Esta integración facilita el seguimiento en tiempo real de las emisiones de contaminantes, proporcionando información detallada sobre sus fuentes y patrones de dispersión (Bhatti et al., 2024).

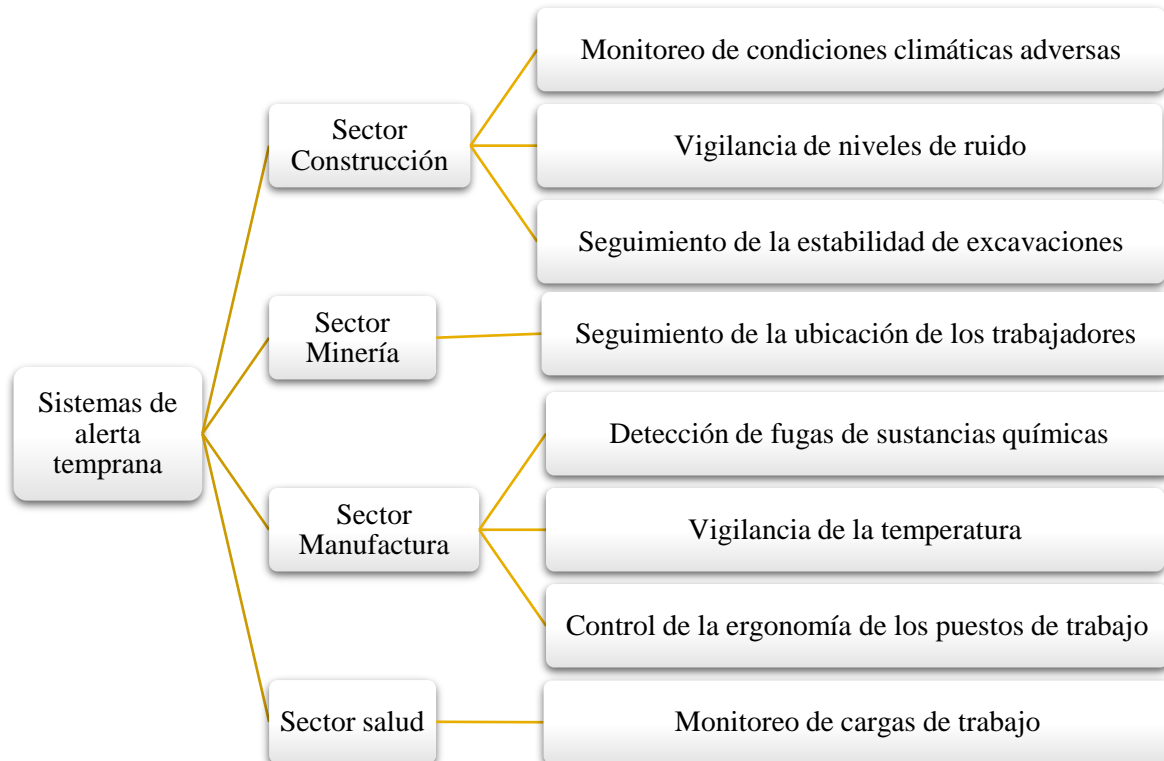
### 6.3.1.7 Monitoreo de la temperatura

El uso de técnicas de inteligencia artificial, como redes neuronales de perceptrón multicapa (MLP), redes de función de base radial (RBF) y el método de manejo de datos grupales (GMDH), para estimar la temperatura interior de edificios en un entorno climático tropical. Variables como la temperatura ambiental y la humedad relativa exterior, pueden influir en el confort térmico de los ocupantes, lo que indirectamente influye en la seguridad y el bienestar en el lugar de trabajo (May Tzuc et al., 2020).

### 6.3.2 Sistemas de alerta temprana.

**Figura 23.**

*Aplicación de sistemas de alerta temprana*



### *6.3.2.1 Monitoreo de condiciones climáticas.*

Las técnicas de inteligencia artificial, en particular las redes neuronales y la lógica difusa ayudan con el pronóstico de la carga eléctrica al incorporar datos climáticos en los modelos predictivos. Los modelos híbridos que combinan estas tecnologías permiten seleccionar las entradas clave, como la temperatura y los días festivos, que tienen un impacto significativo en la demanda de energía. Al integrar la lógica difusa en el preprocesamiento de datos, se reduce tanto el tiempo de aprendizaje de las redes neuronales como la complejidad computacional, lo que se traduce en pronósticos más precisos. Esta lógica difusa también facilita el manejo de incertidumbres y comportamientos imprevistos del sistema eléctrico, adaptándose mejor a las variaciones en la demanda al considerar datos históricos y eventos especiales (Raza & Khosravi, 2015). Con pronósticos más precisos, las empresas pueden planificar mejor sus recursos energéticos y operaciones, lo que puede ayudar a evitar situaciones de emergencia que podrían poner en riesgo la seguridad de los trabajadores

### *6.3.2.2 Vigilancia de niveles de ruido.*

Se utilizan sensores acústicos que pueden incluir micrófonos electrónicos y tarjetas de sonido USB para la captura de audio. Estos sensores son capaces de medir diferentes indicadores de ruido, como niveles de sonido instantáneos y equivalentes, así como niveles percentiles y niveles de presión. Plataformas como Raspberry Pi y Tmote Invent, que se utilizan para construir nodos de sensores. Estas plataformas permiten la recolección de datos acústicos y su transmisión a través de redes inalámbricas, facilitando la creación de redes de sensores distribuidos. Los datos obtenidos a través de estos sensores pueden ser utilizados para crear mapas de ruido dinámicos, evaluar el impacto del ruido en la salud y por ende

desarrollar estrategias de gestión del ruido en entornos urbanos y laborales (Picaut et al., 2020). (Picaut, Can, Fortin, Ardouin, & Lagrange, 2020)

#### *6.3.2.3 Seguimiento de la estabilidad de excavaciones.*

La inteligencia artificial (IA) mediante metodologías de optimización pueden analizar datos recopilados por los sensores. Estas metodologías pueden incluir técnicas como modelos de surrogado y optimización derivada de datos, que ayudan a identificar parámetros desconocidos del suelo y a gestionar la incertidumbre asociada con las mediciones. Al combinar los datos de los sensores con modelos de comportamiento físico y técnicas de optimización, se mejora la capacidad para predecir el comportamiento del suelo y, por ende, la estabilidad de la excavación (Costa et al., 2022).

Un modelo de pronóstico y control de riesgos basado en tecnología de gemelos digitales, que permite la interacción en tiempo real entre el entorno virtual y el real, asegurando que se tomen decisiones informadas para mantener la seguridad durante cada etapa de la excavación (Sun et al., 2023). A través de un sistema de monitoreo en tiempo real que incorpora redes de sensores inalámbricos (WSN) y técnicas de visualización, se puede mejorar la seguridad de los trabajadores en el sitio. El seguimiento de la estabilidad de las excavaciones permite detectar de manera temprana problemas como la convergencia del túnel, la apertura de juntas y la filtración en el revestimiento segmentado. Al visualizar estos riesgos mediante un sistema de LED que indica diferentes niveles de riesgo, se proporciona una alerta temprana que ayuda a prevenir accidentes y a tomar decisiones informadas para mitigar los riesgos laborales (Huang et al., 2017). (Danilenka, y otros, 2023)

#### *6.3.2.4 Seguimiento de ubicación de trabajadores*

La arquitectura ASSIST-IoT permite implementar un sistema que aborda los requisitos de localización de trabajadores mediante el uso de dispositivos IoT, como etiquetas de localización que son llevadas por los trabajadores. Estas etiquetas miden la ubicación y la aceleración de los trabajadores y envían estos datos a un habilitador de seguimiento de ubicación a través de tecnología de banda ultra ancha (UWB) (Danilenka et al., 2023). Los sistemas de posicionamiento en interiores (IPS) son una solución adecuada para rastrear la ubicación de los trabajadores en espacios cerrados, utilizando ondas de radio, campos magnéticos entre otros sensores, lo cual permite una mejor gestión de la seguridad al poder monitorear la ubicación de los trabajadores en tiempo real, lo que es especialmente importante en situaciones de emergencia o para garantizar que se encuentren en áreas seguras (Sung et al., 2022).

#### *6.3.2.5 Detección de fugas de sustancias químicas.*

Los drones equipados con tecnología avanzada, como sensores inteligentes y capacidades de video, puede ser fundamental para la detección de fugas de sustancias químicas en sitios de construcción. Estos drones pueden monitorear el estado de los materiales y detectar anomalías en tiempo real, lo que permite una respuesta rápida ante posibles fugas o derrames. La integración de tecnologías como IoT y RFID también facilita el seguimiento y la gestión de inventarios, lo que contribuye a la seguridad y eficiencia en el manejo de materiales potencialmente peligrosos. Usar drones para inspecciones puede reducir la necesidad de que el personal humano esté expuesto a entornos peligrosos, mejorando así la seguridad en el lugar de trabajo (AIRushood et al., 2023).

#### *6.3.2.6 Control de ergonomía de los puestos de trabajo*

El diseño centrado en el usuario es fundamental en la creación de sistemas de inteligencia artificial (IA) porque considera las capacidades y necesidades de los usuarios, relacionando la ergonomía y la usabilidad. La participación de los trabajadores en el diseño y evaluación de estos sistemas es clave para identificar y solucionar problemas ergonómicos que podrían pasar desapercibidos. Además, la evaluación continua del impacto de la IA en la ergonomía laboral permite una gestión proactiva de la misma, asegurando que los sistemas se adapten de manera óptima a los usuarios (Grote, 2023).

Para mejorar la evaluación de riesgos ergonómicos en el lugar de trabajo, se emplea una metodología que incluye la recolección de datos mediante smartphones equipados acelerómetros y giroscopios. Estos dispositivos permiten capturar datos de movimiento en tiempo real de manera no intrusiva. Posteriormente, se utiliza un marco de clasificación basado en aprendizaje automático para reconocer y categorizar las actividades realizadas por los trabajadores, como levantar, empujar o tirar. Con esta información, se estima la duración y frecuencia de cada actividad, lo que es esencial para evaluar el riesgo ergonómico asociado con el sobreesfuerzo. Los datos obtenidos permiten identificar las principales fuentes de riesgo y tomar medidas preventivas, como el rediseño de actividades o espacios de trabajo (Nath et al., 2018).

#### *6.3.2.7 Monitoreo de cargas de trabajo*

La IA puede analizar grandes volúmenes de datos recopilados por herramientas como el SRH (Skill Retention and Health) para identificar patrones y correlaciones que podrían no ser evidentes para los analistas humanos. Esta capacidad analítica podría contribuir a desarrollar enfoques más precisos y efectivos en la medicina personalizada, lo que mejora

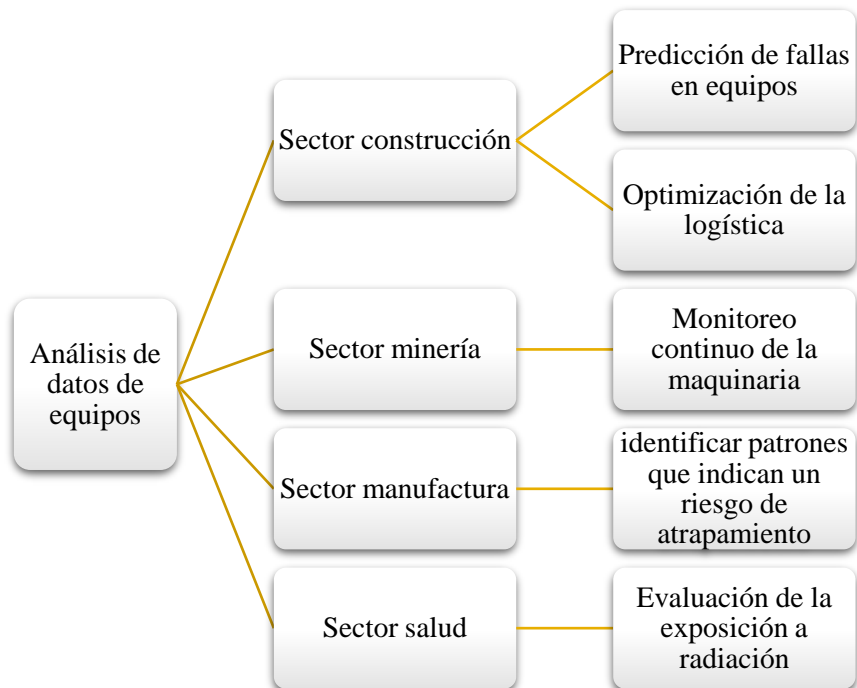
las condiciones de trabajo y la ergonomía al optimizar la asignación de tareas y la gestión de la carga de trabajo de los profesionales de la salud (Lastrucci et al., 2024).

La complejidad de crear horarios para residentes en medicina de emergencia, que cumplan con las demandas educativas y de atención al paciente, es un desafío. Las restricciones de horas de trabajo y otras limitaciones hacen que la programación lineal para los horarios de residentes sea más complicada que para los empleados. El uso de algoritmos de programación matemática y el avance de la inteligencia artificial (IA) pueden facilitar la resolución de estos problemas, aunque la tecnología de IA, como el modelo GPT-3 de OpenAI, no es una solución inmediata para crear horarios de trabajo de manera instantánea, puede ser útil para minimizar errores humanos y optimizar el proceso de programación (Eskandarani et al., 2024).

### 6.3.3 Análisis de datos de equipos

**Figura 24.**

*Aplicaciones de análisis de datos y equipos*



#### 6.3.3.1 Predicción de fallas en equipos.

La predicción de fallas con inteligencia artificial (IA) se refiere al uso de técnicas de IA y aprendizaje automático (ML) para anticipar y detectar fallas en equipos industriales antes de que ocurran. Las redes neuronales de memoria a largo plazo (LSTM) son útiles para analizar datos históricos de funcionamiento del equipo debido a su arquitectura diseñada para manejar secuencias de datos (Das & Rangarajan, 2020).

Los algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo son efectivos para detectar patrones en los datos y gestionar datos complejos y de alta dimensión. Estos algoritmos pueden identificar correlaciones latentes en los datos prediciendo fallas en equipos. El enfoque de red neuronal LSTM (Long Short-Term Memory) es útil para predecir

anomalías en la maquinaria porque tiene un rendimiento superior en términos de precisión y capacidad de predicción en comparación con otros métodos como Random Forest y redes neuronales artificiales, lo cual genera una mejor capacidad para anticipar eventos críticos, como el apagado del motor, lo que influye en la seguridad y el mantenimiento predictivo (Khattak et al., 2024) . (Khattak, Salman, Ghafoor, & Latif, 2024)

#### *6.3.3.2 Optimización de la logística.*

Los algoritmos metaheurísticos inspirados en la naturaleza, como el Optimizador de Enjambre Competitivo con Agentes Mutantes (CSO-MA), son efectivos para resolver problemas de optimización en diversas disciplinas. Al optimizar las rutas de transporte, se reduce el tiempo de viaje y la exposición de los trabajadores a condiciones peligrosas en la carretera, disminuyendo el riesgo de accidentes laborales que se relacionan con el transporte. La gestión de inventarios, facilitada por algoritmos metaheurísticos, puede reducir la congestión en almacenes y áreas de trabajo, disminuyendo el riesgo de caídas o lesiones por manipulación de cargas. La inteligencia artificial puede mejorar la planificación de recursos humanos y materiales, asegurando que los trabajadores no estén sobrecargados y manteniendo un ambiente de trabajo seguro, lo cual contribuye a la salud mental y física de los empleados al evitar el agotamiento y promover un entorno laboral más saludable (Cui et al., 2024).

#### *6.3.3.3 Monitoreo continuo de la maquinaria.*

El monitoreo de condiciones (CM) y la detección y diagnóstico de fallas (FDD) son aspectos críticos para la salud de la maquinaria, puesto que permiten decisiones de mantenimiento tempranas y ayudan a prevenir daños severos en la infraestructura industrial.

Las técnicas de inteligencia artificial (IA) son aportan al monitoreo continuo porque permiten el procesamiento de señales y datos para identificar fallas potenciales. Estas técnicas incluyen el procesamiento de señales, la fusión de datos, el diagnóstico inteligente y los sistemas expertos, que son aplicados en dominios de tiempo, frecuencia y análisis de tiempo-frecuencia. El uso de IA en el monitoreo continuo puede mejorar la seguridad, la fiabilidad y la disponibilidad de los sistemas industriales y simultáneamente reduce los costos de mantenimiento (AlShorman et al., 2020). (AlShorman, y otros, 2020)

#### *6.3.3.4 Identificación de patrones de riesgo de atrapamiento.*

La inteligencia artificial (IA) puede influir en el riesgo de atrapamiento en máquinas gracias a que su incorporación en los sistemas de detección y alerta temprana puede mejorar la identificación de objetivos y reducir los falsos positivos. Las aplicaciones de identificación de objetos y herramientas de reconocimiento de patrones pueden ser utilizadas para analizar grandes volúmenes de datos, ayudando a identificar comportamientos sospechosos (Johnson, 2022).

La construcción de un sistema de gestión de salud basado en AIoT (Inteligencia Artificial de las Cosas) tiene el potencial de analizar datos y mostrar el estado de salud a través de interfaces hombre-máquina. Esto puede ayudar a los individuos a mantener una buena salud e indirectamente puede contribuir a reducir el riesgo de atrapamiento al proporcionar información en tiempo real sobre el comportamiento del usuario. La integración de sensores flexibles y la inteligencia artificial permite un monitoreo más efectivo de diversas actividades humanas, facilitando la identificación de patrones de comportamiento riesgosos (Xu et al., 2024).

Los sistemas de IA pueden integrar información de múltiples sensores y fuentes de datos, lo que permite una evaluación más precisa de la situación. Cuando se detectan condiciones que superan los umbrales de seguridad predefinidos, la IA puede activar automáticamente sistemas de alerta, como alarmas sonoras o notificaciones a los operadores, facilitando una respuesta rápida y efectiva para mitigar riesgos antes de que se conviertan en incidentes graves lo son los atrapamientos (Kamil et al., 2024).

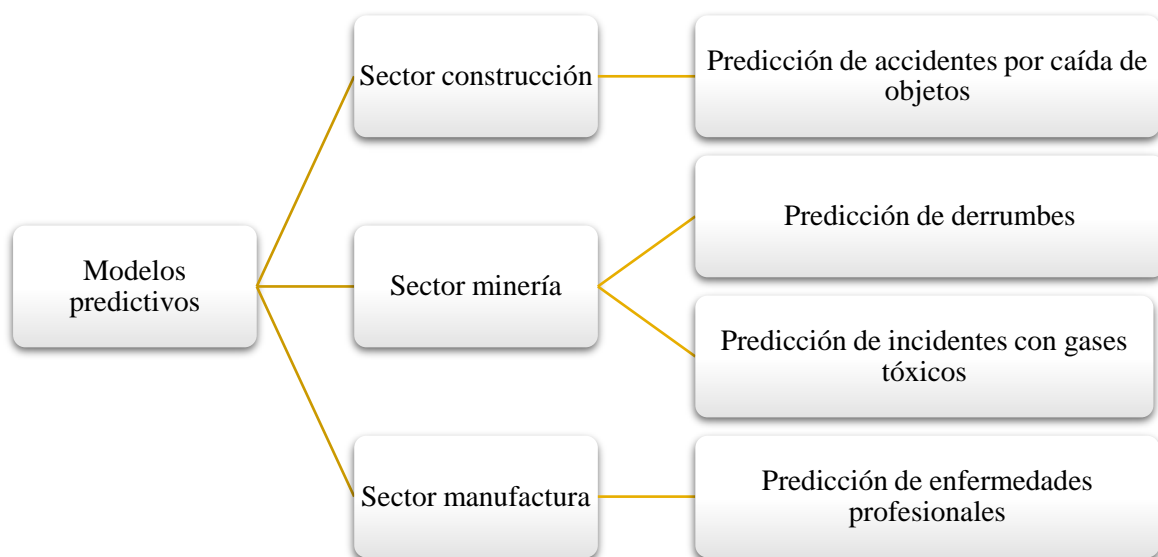
#### *6.3.3.5 Evaluación de la exposición a radiación.*

La inteligencia artificial (IA) permite generar alertas basadas en la clasificación de riesgo o de no riesgo para cada sensor, integrando esta información con reglas preestablecidas que consideran enfermedades y síntomas prediagnosticados, los cuales pueden agravarse por la exposición a ciertos agentes. Esto permite generar alertas precisas, como en el caso de la exposición a radiación, permitiendo a los trabajadores y profesionales de seguridad tomar decisiones informadas sobre la necesidad de protección adicional o ajustes en las actividades laborales. La IA mejora la toma de decisiones al asistir a los profesionales de seguridad y salud ocupacional en la planificación de actividades, minimizando la exposición a agentes nocivos y previniendo enfermedades relacionadas, como quemaduras y cáncer. Así mismo, la IA personaliza la gestión de riesgos al considerar el historial de salud de los trabajadores y las condiciones específicas del entorno laboral, proporcionando recomendaciones adaptadas a las necesidades individuales (Lemos et al., 2024).

### 6.3.4 Modelos predictivos

**Figura 25.**

*Aplicaciones de los modelos predictivos*



#### 6.3.4.1 Predicción de accidentes por caída de objetos.

Algoritmos como Random Forest (RF) y Stochastic Gradient Tree Boosting (SGTB) en el análisis de informes de lesiones en la industria de la construcción para prever la categoría de lesiones, el área del cuerpo afectada y la gravedad de las lesiones (Zermane et al., 2023). YOLO (You Only Look Once) Version 3 se utiliza debido a su rapidez y precisión en la detección de objetos. Este modelo permite predecir las cajas delimitadoras y clasificar cada objeto en el marco de entrada, lo que es crucial para la identificación de peligros potenciales en tiempo real (Faisal et al., 2021)

#### *6.3.4.2 Predicción de derrumbes.*

La IA puede analizar datos históricos de deslizamientos de tierra, incluyendo factores como la precipitación, la topografía, el tipo de suelo y el uso del suelo, para identificar condiciones que preceden a los derrumbes. La integración de datos de sensores en tiempo real (como sensores de humedad del suelo y monitoreo de movimientos de tierra) con algoritmos de IA puede proporcionar alertas tempranas sobre condiciones que podrían llevar a un deslizamiento (Shen et al., 2018). (Shen, Cheng, Yang, & Yang, 2018)

#### *6.3.4.3 Predicción de incidentes con gases tóxicos.*

La predicción de incidentes relacionados con gases tóxicos se realiza utilizando técnicas de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático. Se utiliza una variedad de sensores conectados a un microcontrolador Arduino UNO R3, que se comunica con la nube para almacenar datos en tiempo real y enviar alertas a los sistemas de control de seguridad de la industria. Así mismo, se aplican modelos híbridos de Markov oculto y redes neuronales artificiales como técnicas de detección de errores en los datos de los sensores (Praveenchandar et al., 2022). (Praveenchandar, y otros, 2022)

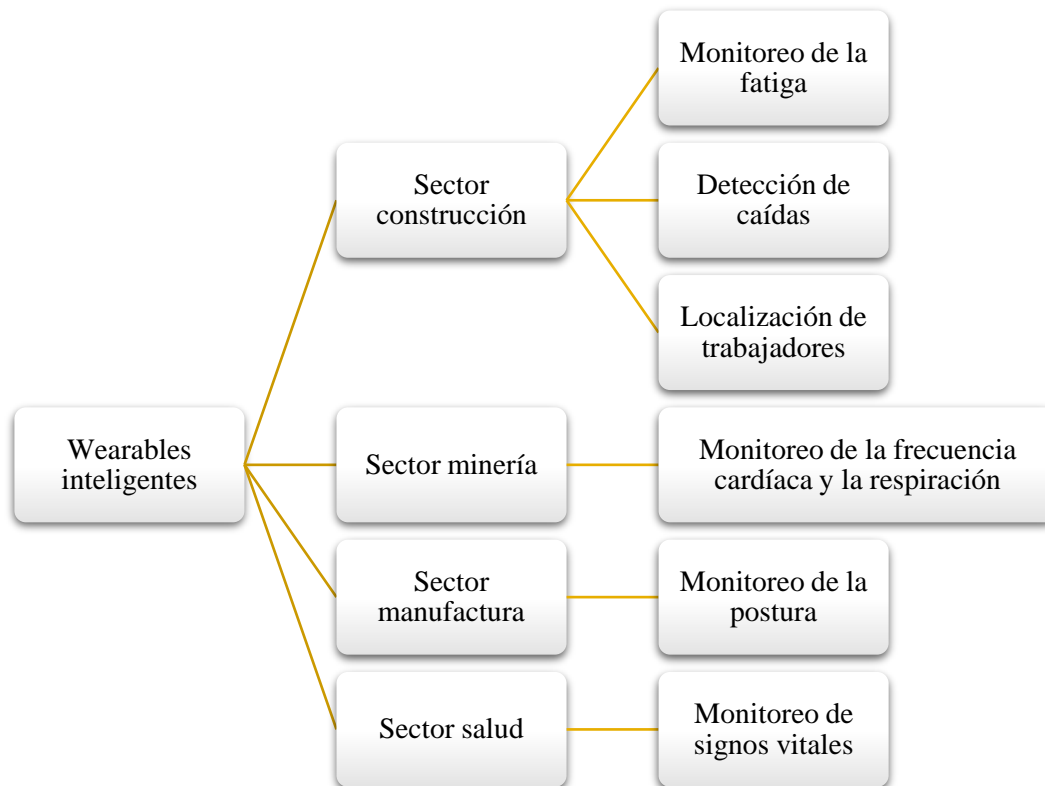
#### *6.3.4.4 Predicción de enfermedades profesionales.*

La disponibilidad de dispositivos portátiles de Internet de las Cosas (IoT) ha aumentado, lo que permite integrar diversas tecnologías en el equipo de protección personal (PPE) inteligente. Estas tecnologías incluyen sensores y actuadores que pueden recopilar e intercambiar datos sobre las condiciones de trabajo y la salud del trabajador, lo cual permite optimizar la detección y prevención de riesgos, así como la identificación de condiciones de salud inherentes a tareas específicas en el lugar de trabajo (Márquez-Sánchez et al., 2021).

### 6.3.5 Wearables inteligentes.

**Figura 26.**

*Aplicaciones de wearables inteligentes*



#### 6.3.5.1. Monitoreo de la fatiga.

Los wearables inteligentes, como el brazalete de salud digital panorámico, monitorean la fatiga mediante la recopilación de datos de múltiples sensores, que incluyen acelerómetros, giroscopios, magnetómetros y sensores de presión. Estos dispositivos registran movimientos y actividades del usuario, permitiendo la identificación de patrones que pueden indicar niveles de fatiga. La información recopilada se utiliza para entrenar modelos de inteligencia artificial que pueden clasificar las actividades y distinguir entre estados de fatiga y no fatiga (Taylor et al., 2024). (Taylor, y otros, 2024)

#### *6.3.5.2 Detección de caídas.*

Los wearables para la detección de caídas tienen funciones como la capacidad de identificar caídas y posturas anormales, alertando por SMS cuando ocurren eventos irregulares, utilizando un acelerómetro de triple eje (MPU6050), estos dispositivos monitorizan movimientos en los ejes x, y, y z durante actividades como caídas o caminar en superficies irregulares. Los datos se preprocesan para reducir el ruido y se emplean modelos de aprendizaje profundo, como CNN, RNN, LSTM y GRU, para mejorar la precisión de la detección. La computación en el borde permite el procesamiento de datos en tiempo real, garantizando una respuesta rápida y manteniendo la privacidad gracias a un monitoreo continuo a través de una plataforma IoT (Paramasivam et al., 2024). (Paramasivam, y otros, 2024)

#### *6.3.5.3 Localización de trabajadores.*

La localización de trabajadores mediante tecnología LoRaWAN es un área de investigación activa, especialmente en el contexto de la seguridad laboral en entornos industriales. La tecnología LoRaWAN tiene características atractivas para la localización flexible de dispositivos portátiles (wearables), ya que puede operar en diferentes tipos de entornos, incluyendo interiores, exteriores y subterráneos. Esto es especialmente relevante para trabajos en sitios peligrosos o de difícil acceso, donde se requiere una solución de localización que funcione efectivamente en diversas condiciones (Svertoka et al., 2022).

#### *6.3.5.4 Monitoreo de la frecuencia cardíaca y la respiración.*

El monitoreo de la frecuencia cardíaca (HR) y la tasa de respiración (BR) se realiza utilizando sensores como los ECG en el pecho (Akbar et al., 2019). Los sistemas que integran

sensores en prendas de vestir, como camisetas, que pueden comunicar señales de frecuencia cardíaca y respiración en tiempo real. Estos dispositivos portátiles pueden generar alertas automáticas basadas en patrones de respiración irregulares, lo que es útil en situaciones donde los usuarios no pueden proporcionar alertas verbales, como en el caso de personas que están muy concentradas en una actividad (Benmussa et al., 2022). (Benmussa, Cauchard, & Yakhini, 2022)

#### *6.3.5.5 Monitoreo de la postura.*

Un dispositivo portátil que combina la adquisición de señales electromiográficas (sEMG) de la región cervical con datos inerciales de unidades de medición inercial (IMUs) para evaluar la ocurrencia de FHP es relevante debido al aumento de posturas incorrectas en el trabajo, que pueden llevar a trastornos musculoesqueléticos (Martins et al., 2024). Los wearables permiten la monitorización de variables cinemáticas del movimiento humano, utilizando sensores inerciales que son más adecuados para entornos de trabajo en comparación con sistemas de captura de movimiento ópticos, que son más comunes en laboratorios (Figueira et al., 2024).

#### *6.3.5.6 Monitoreo de signos vitales.*

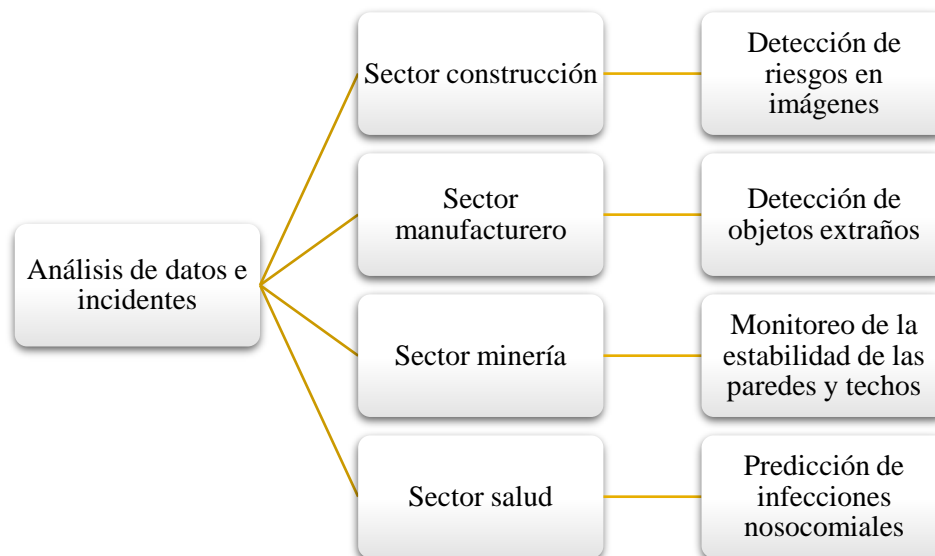
Los sensores portátiles habilitados para IoT (Internet de las Cosas) son capaces de monitorear parámetros fisiológicos de las personas, lo que facilita la detección y el control de enfermedades, especialmente durante brotes epidémicos. Estos dispositivos pueden medir signos vitales como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la temperatura corporal y otros, y transmiten esta información a la nube para su análisis y evaluación por parte de profesionales de la salud (Juanid et al., 2022). La integración de IA, IoT y signos vitales en una única plataforma ha demostrado ser efectiva para monitorear la salud y detectar

anomalías. Los dispositivos más comunes utilizados en clínicas incluyen electrocardiogramas (ECG), oxímetros de pulso y sensores de temperatura, que permiten clasificar el riesgo de enfermedades cardíacas o arritmias en tiempo real (Abd Al-Alim et al., 2024).

### 6.3.6 *Análisis de datos e incidentes.*

**Figura 27.**

*Aplicaciones de análisis de datos e incidentes*



#### 6.3.6.1 *DetECCIÓN de riesgos en imágenes.*

La detección automática se centra en identificar slicks antropogénicos (derramados) y naturales (filtraciones) utilizando un conjunto de datos extenso y reciente de escenarios de monitoreo de sustancias. Se utilizan arquitecturas de redes neuronales profundas, como FC-DenseNet y Mask R-CNN, para realizar la segmentación de imágenes. FC-DenseNet se enfoca en la segmentación semántica, mientras que Mask R-CNN se utiliza para la segmentación de instancias. Estos modelos son capaces de aprender características complejas de las imágenes a partir de grandes conjuntos de datos anotados (Amri et al., 2022).

### *6.3.6.2 Detección de objetos extraños*

La IA se utiliza para identificar y clasificar objetos en las imágenes capturadas por cámaras de visión frontal, lo que ayuda a prevenir accidentes al reconocer las condiciones del entorno (Kang et al., 2023). A menudo, se utilizan algoritmos de aprendizaje superficial, donde la ingeniería de características juega un papel importante, empleando técnicas básicas de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones (Roy & Santosh, 2023). La inteligencia artificial (IA) puede ser un aliado útil en la construcción de defensas contra atacantes al ser capaz de detectar y analizar patrones de anomalías, lo cual implica proteger los sistemas de IoT de los hackers y utilizar la IA para identificar comportamientos anómalos que podrían indicar un ataque (Alterazi et al., 2022).

### *6.3.6.3 Monitoreo de la estabilidad de las paredes y techos*

El uso de técnicas de inteligencia artificial, particularmente modelos de aprendizaje profundo, para predecir la profundidad de empotramiento de muros. Los modelos de aprendizaje profundo, incluyendo redes neuronales profundas (DNN), redes neuronales recurrentes (RNN), redes de memoria a largo plazo (LSTM) y redes de memoria a largo plazo bidireccionales (Bi-LSTM), son empleados para predecir la profundidad de empotramiento de muros (Pradeep et al., 2024). El monitoreo de la estabilidad de paredes y techos con AI ayuda a prevenir accidentes laborales al identificar de prematuramente cualquier signo de debilitamiento o daño estructural. La inteligencia artificial puede analizar datos como vibraciones, desplazamientos o grietas en tiempo real y así detectar patrones alerten sobre fallos potenciales antes de que se conviertan en peligros inminentes para las personas, ya sean trabajadores o no.

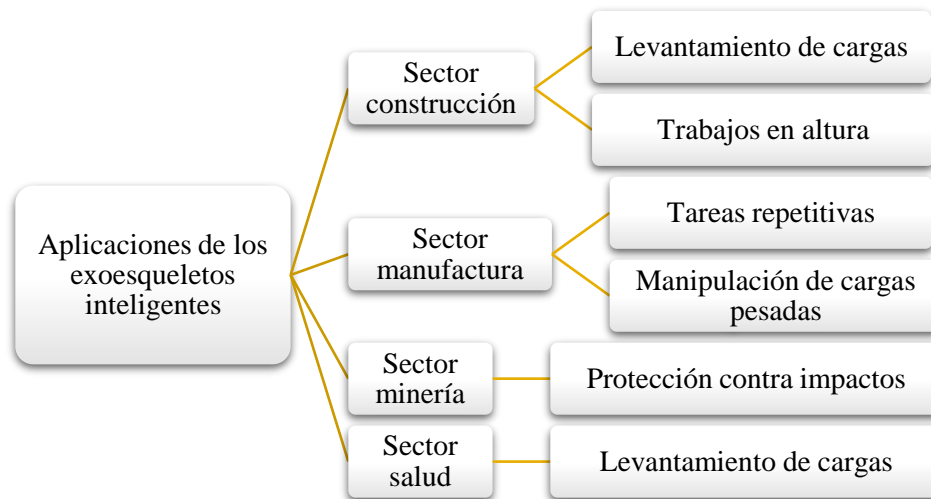
#### 6.3.6.4 Predicción de infecciones nosocomiales

El método de bosques aleatorios (*Random Forest*) es una técnica de aprendizaje automático utilizada para clasificación y regresión. Se basa en la combinación de múltiples árboles de decisión para mejorar la precisión y robustez del modelo. Este método ayuda a predecir la aparición de infecciones nosocomiales e igualmente, permite considerar múltiples parámetros, incluyendo la emergencia de enfermedades infecciosas y cambios en la rutina del hospital. Al aplicar este método, se puede alertar al personal del hospital sobre posibles brechas en la prevención de infecciones, lo que es crucial para mejorar la respuesta y las medidas de control dentro del entorno hospitalario (Agrebi & Larbi, 2020).

#### 6.3.7 Asistencia física inteligente.

##### Figura 28.

##### Aplicación de asistencia física inteligente



##### 6.3.7.1 Levantamiento de cargas.

los exoesqueletos que incorporan inteligencia artificial (IA) están diseñados para mejorar la interacción humano-robot y optimizar el levantamiento de cargas. Estos

exoesqueletos activos utilizan sensores y unidades de computación complejas para controlar los movimientos de las articulaciones en tiempo real, lo que permite que el sistema se adapte a las intenciones del usuario con un mínimo de error. Los exoesqueletos están equipados con diversos sensores, como electromiografía (EMG), electroencefalografía (EEG) y sensores de fuerza, que detectan las señales del cuerpo del usuario. Estos sensores recogen información sobre la intención de movimiento del usuario y su estado físico (Nazari et al., 2023). (Nazari, Mohajer, Nahavandi, Khosravi, & Nahavandi, 2023)

#### *6.3.7.2 Trabajo en alturas.*

Utilizando tecnologías como EMG y EEG, el exoesqueleto puede interpretar las señales neuromusculares del trabajador para anticipar sus movimientos y proporcionar la asistencia adecuada, lo cual se necesita en situaciones donde se levantan cargas pesadas, ya que la sincronización y la precisión son esenciales para evitar lesiones (Nazari et al., 2023). Los exoesqueletos con IA tienen la capacidad de optimizar el control del movimiento al ajustar la asistencia en función de la carga que se está levantando y el estado físico del usuario, lo que implica calcular la cantidad de torque necesario para realizar la tarea y ayudar al usuario con una fracción de ese torque, lo cual mejora la eficiencia y reduce el costo metabólico del levantamiento (Nazari et al., 2023).

#### *6.3.7.3 Tareas repetitivas.*

La inteligencia artificial en los exoesqueletos, a través de algoritmos de aprendizaje profundo, procesa los datos recogidos por los sensores. Esto permite que el exoesqueleto aprenda de las interacciones del usuario y se adapte a sus necesidades específicas. Por ejemplo, puede reconocer patrones de movimiento y ajustar su asistencia en consecuencia (Al-Shammari et al., 2021). La AI identifica signos de estrés físico o fatiga en el trabajador,

ajustando el nivel de soporte del exoesqueleto para prevenir lesiones y mejorar la comodidad durante tareas repetitivas. La AI puede facilitar la colaboración entre el exoesqueleto y otros robots en el entorno laboral, coordinando acciones para maximizar la eficiencia y minimizar el esfuerzo humano (Arkouli et al., 2021).

#### *6.3.7.4 Manipulación de cargas pesadas.*

Los exoesqueletos con AI pueden ser pasivos o activos. Los exoesqueletos pasivos están diseñados para apoyar la región lumbar y han demostrado ser efectivos en la reducción de la actividad muscular de la espalda durante levantamientos dinámicos y mantenimientos estáticos, con reducciones reportadas del 10 al 40% en la actividad muscular de la espalda. En contraste los exoesqueletos activos ofrecen reducciones aún mayores en la carga física, con informes de disminuciones de hasta el 80% en la actividad muscular en diversas partes del cuerpo, incluyendo la parte inferior, el tronco y la parte superior (De Looze et al., 2016).

### **6.4. Elaboración del artículo**

Para la elaboración del artículo se adoptó un enfoque detallado que buscó garantizar presentar de forma clara y accesible de los resultados obtenidos. El primer paso consistió en organizar la información de manera estructurada para construir un relato fluido y comprensible. La investigación se inició con la redacción de una introducción que contextualiza el tema, en la que se destacó la creciente importancia de las tendencias en tecnologías basadas en inteligencia artificial (IA) en el ámbito laboral. Esta introducción estableció el marco teórico de la investigación y mostró el objetivo central del artículo: explorar cómo estas tecnologías pueden innovar y fortalecer la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

A lo largo del documento, se detallaron los avances, usos y aplicaciones concretas de las tendencias en IA, enfocándose en su implementación en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. Para respaldar esta información, se utilizaron datos específicos y ejemplos relevantes que mencionan el impacto positivo de estas tecnologías en entornos laborales reales. Finalmente, se destacó cómo las tendencias en IA pueden ser implementadas en diversos entornos laborales, enfatizando los beneficios potenciales de su uso, como la mejora en la eficiencia, la reducción de riesgos laborales y la promoción de un ambiente de trabajo más seguro y saludable. A través de este proceso de investigación y análisis, se espera contribuir a una mejor comprensión del papel de la inteligencia artificial en la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, promoviendo un diálogo continuo sobre su integración en el ámbito laboral.

## 7. Conclusiones

Las tecnologías que incorporan inteligencia artificial son un avance revolucionario en la SST ya que brindan instrumentos avanzados que pueden identificar y prevenir peligros laborales y permiten una intervención proactiva. La IA ha facilitado la creación de plataformas de monitoreo constante y análisis predictivo que transforman la SST de ser reactiva a proactiva y dinámica, lo cual fortalece las garantías de salud y seguridad para los trabajadores de diversos sectores económicos.

El uso de algoritmos de aprendizaje automático mejora la detección de problemas en tiempo real. La inteligencia artificial aplicada a partir de datos de múltiples fuentes: sensores ambientales, cámaras, dispositivos portátiles, aprende patrones que pueden llevar a situaciones peligrosas y así arrojar alertas antes de que se produzcan eventos graves en los espacios de trabajo. Eso aumenta la seguridad operativa y ahorra tiempo crítico respondiendo a problemas antes de que se conviertan en emergencias que generen pérdidas para la empresa, pérdidas humanas o disminución en las condiciones de la calidad de vida como consecuencia de accidentes laborales.

Los exoesqueletos controlados por IA han tenido un impacto en la reducción de lesiones musculoesqueléticas, particularmente en áreas como la construcción, la minería, la manufactura y la salud, donde las tareas repetitivas y el levantamiento de cargas pesadas son frecuentes. A diferencia de los cojines tradicionales, estos exoesqueletos avanzados mejoran la ergonomía mediante el apoyo y el alivio muscular mientras monitorean y ajustan en tiempo real el rendimiento a las condiciones físicas únicas de cada trabajador, lo cual reduce la

probabilidad de lesiones y aumenta la eficiencia de los sistemas y la productividad al permitir a los trabajadores desempeñar sus funciones de manera segura y efectiva.

Una de las grandes ventajas de las tecnologías basadas en IA es su capacidad para personalizar las medidas de seguridad y salud en el trabajo. Los sistemas de IA pueden adaptarse a las características individuales de los trabajadores y a las especificidades de cada tarea, ofreciendo soluciones de seguridad más efectivas y ajustadas a las necesidades concretas de cada entorno laboral, lo cual mejora la seguridad y aumenta la satisfacción y el bienestar de los empleados.

A pesar de los beneficios de la inteligencia artificial en la gestión de la SST, la implementación de esta tecnología presenta barreras y desafíos. Algunas de las consideraciones más importantes son cuestiones éticas, como la protección de los datos personales de los trabajadores y el peligro del uso inadecuado de la información recopilada. Así mismo, la incorporación de estas tecnologías está vinculada con la necesidad de infraestructura técnica y capacitación continuada de los profesionales en SST, lo que puede ser un desafío para muchas organizaciones que aún no están preparadas para adoptar tecnologías con inteligencia artificial.

A las industrias de alto riesgo se les recomienda priorizar la adopción de exoesqueletos con inteligencia artificial en las operaciones, especialmente analizando las áreas donde la carga física es muy común y prevalece el porcentaje de lesiones musculoesqueléticas. Igualmente, es esencial llevar a cabo pruebas piloto previas para adaptar los exoesqueletos a las necesidades de la tarea y de los trabajadores en cuestión. Las empresas también deberían implementar programas de entrenamiento especial para los empleados, centrándose en el uso de estos dispositivos, así como en su mantenimiento y

calibración para asegurarse de que los exoesqueletos se usan de la mejor manera posible en cada oportunidad.

## 8. Recomendaciones

Se recomienda desarrollar e implementar sistemas de inteligencia artificial que permitan personalizar las medidas de seguridad y salud laboral, adaptándose a las condiciones generales del lugar de trabajo y a las capacidades físicas y limitaciones de cada empleado, lo cual implica realizar evaluaciones iniciales de cada trabajador y cada tarea para configurar adecuadamente los sistemas de IA. Además, es recomendable establecer un ciclo de evaluación continua, donde las medidas de seguridad se ajusten dinámicamente en función del rendimiento y la retroalimentación recibida.

Se recomienda que las empresas que adopten inteligencia artificial desarrollen un marco ético robusto y una política de gestión de datos clara que aborde las preocupaciones relacionadas con la privacidad y la protección de datos personales. Este marco incluiría protocolos de manejo de datos, con medidas de seguridad para evitar el acceso no autorizado y el uso indebido de la información. Estas organizaciones también deberían realizar evaluaciones periódicas de riesgos éticos, involucrando a expertos legales y de privacidad en la toma de decisiones

Se recomienda realizar capacitación continua de los profesionales en SST para asegurar que estén preparados para utilizar estas tecnologías basadas en inteligencia artificial para comprender y mitigar los desafíos éticos y operativos que puedan surgir. Se recomienda también la creación de un comité de ética que supervise la implementación y uso de la IA en la gestión de la SST, asegurando que todas las acciones sean alineadas con los valores y principios éticos de cada organización.

Se recomienda a las organizaciones invertir en tecnologías de inteligencia artificial y desarrollar estrategias que incorporen estas herramientas en todas las fases de la gestión de

la SST, incluyendo la evaluación previa de riesgos, la implementación de medidas preventivas y la revisión continua de su efectividad. Las empresas deben fomentar la colaboración interdisciplinaria entre expertos en IA, ingenieros de seguridad y gerentes operativos para maximizar el impacto de estas tecnologías en la seguridad y salud laboral.

Se recomienda a las organizaciones implementar sistemas de IA que integren datos de diversas fuentes en tiempo real, asegurando una visión holística del entorno laboral, lo cual se puede lograr a través del desarrollo de protocolos de respuesta rápida que permitan actuar inmediatamente ante las alertas generadas por la IA, minimizando el tiempo de inactividad y el riesgo de accidentes. Una medida recomendable es considerar la creación de un equipo dedicado a la gestión de la IA en SST, capacitado para interpretar y actuar sobre las alertas en tiempo real, garantizando que las respuestas sean adecuadas y eficaces; igualmente, la empresa interesada en implementar la inteligencia artificial para fortalecer la gestión de SST también debe invertir en infraestructura tecnológica avanzada que soporte la gran cantidad de datos generados, así como en programas de mantenimiento continuo de los sistemas para asegurar su precisión y confiabilidad a lo largo del tiempo.

### Referencias bibliográficas

- Abd Al-Alim, M., Mubarak, R., Salem, N. M., & Sadek, I. (2024). A machine-learning approach for stress detection using wearable sensors in free-living environments. *Computers in Biology and Medicine*, 179.
- Abeliuk, A., & Gutiérrez, C. (2021). Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Revista Bits de Ciencia*, (21), 14-21.
- Agrebi, S., & Larbi, A. (2020). Use of artificial intelligence in infectious diseases. *In Artificial intelligence in precision health*, 415-438.
- Akbar, F., Mark, G., Pavlidis, I., & Gutierrez-Osuna, R. (2019). An empirical study comparing unobtrusive physiological sensors for stress detection in computer work. *Sensors*, 19(17), 3766.
- Ali, Y., Hussain, F., & Haque, M. M. (2024). Advances, challenges, and future research needs in machine learning-based crash prediction models: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, 194.
- AlRushood, M. A., Rahbar, F., Selim, S. Z., & Dweiri, F. (2023). Accelerating Use of Drones and Robotics in Post-Pandemic Project Supply Chain. *Drones*, 7(5), 313.
- Alsemmeiri, R. A., Dahab, M. Y., Alturki, B., & Alsulami, A. A. (2023). Priority Detector and Classifier Techniques Based on ML for the IoMT. *Computers, Materials & Continua*, 76(2).
- Al-Shammari, N. K., Alshammari, A. S., Albadarn, S. M., Ahmed, S. T., Basha, S. M., Alzamil, A. A., & Gabr, A. M. (2021). Development of soft actuators for stroke rehabilitation using deep learning. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 8(11), 22-29.

- AlShorman, O., Irfan, M., Saad, N., Zhen, D., Haider, N., Glowacz, A., & AlShorman, A. (2020). A review of artificial intelligence methods for condition monitoring and fault diagnosis of rolling element bearings for induction motor. *Shock and vibration*, 2020(1), 8843759.
- Alterazi, H. A., Kshirsagar, P. R., Manoharan, H., Selvarajan, S., Alhebaishi, N., Srivastava, G., & Lin, J. C. (2022). Prevention of cyber security with the internet of things using particle swarm optimization. *Sensors*, 22(16), 6117.
- Amri, E., Dardouillet, P., Benoit, A., Courteille, H., Bolon, P., Dubucq, D., & Credo, A. (2022). Offshore oil slick detection: From photo-interpreter to explainable multi-modal deep learning models using SAR images and contextual data. *Remote Sensing*, 14(15).
- Arkouli, Z., Kokotinis, G., Michalos, G., Dimitropoulos, N., & Makris, S. (2021). AI-enhanced cooperating robots for reconfigurable manufacturing of large parts. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 617-622.
- Arrestegui, L. B. (2012). Fundamentos históricos y filosóficos de la inteligencia artificial. *UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura*, 1(1), 87-92.
- Asociación Española de Ergonomía. (s.f). *¿Qué es la ergonomía?* Obtenido de <http://ergonomos.es/ergonomia.php>
- Baldassarre, A., Lulli, L. G., Cavallo, F., & Fiorini, L. M. (2022). Industrial exoskeletons from bench to field: Human-machine interface and user experience in occupational settings and tasks. *Frontiers in Public Health*, 10.
- Basáez, E., & Mora, J. (2022). Salud e inteligencia artificial: ¿cómo hemos evolucionado? *Revista Médica Clínica Las Condes*, 33(6), 556-561.

- Benmussa, C., Cauchard, J. R., & Yakhini, Z. (2022). Generating Alerts from Breathing Pattern Outliers. *Sensors*, 22(16), 6306.
- Berdell, J., Kudernatsch, S., & Ferdowsi, H. (2024). AI-Driven solid-state device to enable natural control of upper-extremity robotic exoskeletons. *Systems Science & Control Engineering*, 12(1).
- Bhatti, M. A., Song, Z., & Bhatti, U. A. (2024). AIoT-driven multi-source sensor emission monitoring and forecasting using multi-source sensor integration with reduced noise series decomposition. *Journal of Cloud Computing*, 13(1), 65.
- Botti, L., & Melloni, R. (2023). Occupational exoskeletons: understanding the impact on workers and suggesting guidelines for practitioners and Future Research needs. *Applied Sciences*, 14(1), 84.
- Campero-Jurado, I., Márquez-Sánchez, S., Quintanar-Gómez, J., & Rodríguez, S. &. (2020). Smart helmet 5.0 for industrial internet of things using artificial intelligence. *Sensors*, 20(21), 6241.
- Cantó-Sancho, N. (2021). Revisión sistemática y metaanálisis sobre la relación entre la productividad laboral y la enfermedad de ojo seco en pacientes con ojo seco no relacionado con Sjögren y con el Síndrome de Sjögren. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 24(2), 185-189.
- CCS. (2022). CCS. Obtenido de <https://ccs.org.co/siniestralidad-laboral-en-2021/>
- Chamochumbi-Barrueto, C. M. (2014). *Seguridad e higiene industrial*. Lima: Fondo Editorial.

- Cheng, Y., Yang, X., Wang, Y., Li, Q., Chen, W., Dai, R., & Zhang, C. (2024). Multiple machine-learning tools identifying prognostic biomarkers for acute Myeloid Leukemia. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 24(1).
- Comercio, E. (31 de marzo de 2019). *Handle, el robot capaz de realizar con exactitud el trabajo de un operario*. Obtenido de El comercio:  
<https://elcomercio.pe/tecnologia/robotica/handle-nuevo-robot-capaz-realizar-exactitud-operario-noticia-621788-noticia/>
- Consejo Colombiano de Seguridad. (2023). *CCS*. Obtenido de Aumentaron en 22,4 % los accidentes laborales en Colombia: se presentaron más de 136.000 en el primer trimestre: <https://ccs.org.co/portfolio/aumentaron-en-224-los-accidentes-laborales-en-colombia-se-presentaron-mas-de-136-000-en-el-primer-trimestre/#:~:text=En%20total%2C%20se%20registraron%20136.299,presentaron%201514%20eventos%20por%20d%C3%ADa>.
- Corvalán, J. G. (2019). El impacto de la inteligencia artificial en el trabajo. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, 10(1), 35-51.
- Costa, A., Wang, Z. Z., Goh, S. H., & Smith, I. F. (2022). A smart sensor-data-driven optimization framework for improving the safety of excavation operations. *Expert Systems with Applications*, 193.
- Cui, E. H., Zhang, Z., Chen, C. J., & Wong, W. K. (2024). Applications of nature-inspired metaheuristic algorithms for tackling optimization problems across disciplines. *Scientific reports*, 14(1), 9403.
- Damilos, S., Saliakas, S., Karasavvas, D., & Koumoulos, E. P. (2024). An Overview of Tools and Challenges for Safety Evaluation and Exposure Assessment in Industry 4.0. *Applied Sciences*, 14(10), 4207.

Danilenka, A., Sowiński, P., Rachwał, K., Bogacka, K., Dąbrowska, A., Kobus, M., . . .

Paprzycki, M. (2023). Real-time AI-driven fall detection method for occupational health and safety. *Electronics*, *12*(20), 4257.

Das, M. K., & Rangarajan, K. (2020). Performance monitoring and failure prediction of industrial equipments using artificial intelligence and machine learning methods:

A survey. In *2020 Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 595-602.

De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., & O'sullivan, L. W. (2016).

Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, *59*(5), 671-681.

Donisi, L., Cesarelli, G., Pisani, N., Ponsiglione, A. M., Ricciardi, C., & Capodaglio, E.

(2022). Wearable sensors and artificial intelligence for physical ergonomics: A systematic review of literature. *Diagnostics*, *12*(12), 3048.

Eskandarani, R., Almuahiny, A., & Alzahrani, A. (2024). Creating a master training

rotation schedule for emergency medicine residents and challenges in using artificial intelligence. *International Journal of Emergency Medicine*, *17*(1), 84.

Faisal, M. M., Abdulhussain, S. H., Mahmmud, B. M., Khan, W., & Hussain, A. (2021).

Object detection and distance measurement using AI. In *2021 14th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, 559-565.

Figueira, V., Silva, S., Costa, I., Campos, B., Salgado, J., Pinho, L., . . . Pinho, F.

(2024). Wearables for Monitoring and Postural Feedback in the Work Context: A Scoping Review. *Sensors*, *24*(4), 1341.

- Forbes. (23 de junio de 2023). *Forbes Colombia*. Obtenido de Estas son las ciudades con mayor siniestralidad laboral en Colombia:  
<https://forbes.co/2023/06/23/capital-humano/estas-son-las-ciudades-con-mayor-siniestralidad-laboral-en-colombia>
- García, M. (2022). La inteligencia artificial para el entorno laboral. Un enfoque en la predicción de accidentes. *e-Revista Internacional de la Protección Social*, 7(1), 84-101.
- García-Murillo, J. G., & Gordillo-Ruíz, C. E. (2021). Es posible armonizar el trabajo humano, con la inteligencia artificial. *Repositorio Universidad Libre de Colombia*.
- Golabchi, A., Chao, A., & Tavakoli, M. (2022). A systematic review of industrial exoskeletons for injury prevention: efficacy evaluation metrics, target tasks, and supported body postures. *Sensors*, 22(7).
- Graf, H., & Mohamed, H. (2024). Robotization and employment dynamics in German manufacturing value chains. *Structural Change and Economic Dynamics*, 68,, 133-147.
- Grote, G. (2023). Shaping the development and use of artificial intelligence: How human factors and ergonomics expertise can become more pertinent. *Ergonomics*, 66(11), 1702-1710.
- Guidotti, D., Pandolfo, L., & Pulina, L. (2023). Leveraging satisfiability modulo theory solvers for verification of neural networks in predictive maintenance applications. *Information*, 14(7), 397.

Guidotti, D., Pandolfo, L., & Pulina, L. (2023). Leveraging satisfiability modulo theory solvers for verification of neural networks in predictive maintenance applications. *Information, 14*(7), 397.

Huang, H. W., Zhang, D. M., & Ayyub, B. M. (2017). An integrated risk sensing system for geo-structural safety. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 9*(2), 226-238.

Hyysalo, J., Dasanayake, S., Hannu, J., Schuss, C., Rajanen, M., Leppänen, T., & Sauvola, J. (2022). Smart mask–Wearable IoT solution for improved protection and personal health. *Internet of things, 18*.

Iberdrola. (s.f). *Qué son los exoesqueletos y cómo pueden ayudarnos a superar nuestras limitaciones humanas*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-son-los-exoesqueletos>

It Trends. (30 de enero de 2020). *It Trends*. Obtenido de Aumenta el uso de la inteligencia artificial en todo el mundo: <https://www.ittrends.es/inteligencia-artificial/2020/01/aumenta-el-uso-de-la-inteligencia-artificial-en-todo-el-mundo#:~:text=En%20el%20%C3%BAltimo%20a%C3%B1o%20las,de%20IA%20a%20su%20negocio>.

Jittawiriyankoon, C., & Srisarkun, V. (2022). Simulation for predictive maintenance using weighted training algorithms in machine learning. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), 12*(3).

Johnson, J. (2022). Inadvertent escalation in the age of intelligence machines: A new model for nuclear risk in the digital age. *European Journal of International Security, 7*(3), 337-359.

- Junaid, S. B., Imam, A. A., Shuaibu, A. N., Basri, S., Kumar, G., Surakat, Y. A., . . . Alazzawi, A. K. (2022). Artificial intelligence, sensors and vital health signs: a review. *Applied Sciences*, *12*(22), 11475.
- Kamil, S., Al-Turfi, M., & Almkhtar, R. (2024). Advancements in Chemical Materials: Exploring Smart Storage Equipment and Protection Systems. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, *5*(2), 1086-1101.
- Kang, S. J., Ryu, K. B., Jeong, M. S., Jeong, S. I., & Park, K. R. (2023). CAM-FRN: Class Attention Map-Based Flare Removal Network in Frontal-Viewing Camera Images of Vehicles. *Mathematics*, *11*(17), 3644.
- Kantan Software. (23 de marzo de 2023). *4 herramientas básicas para automatizar el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Obtenido de Kantan: <https://www.kantansoftware.com/blog/4-herramientas-basicas-para-automatizar-el-sistema-de-gestion-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo/>
- Khan, N., Nadeau, S., Xuan-Tan, P., & Boton, C. (2024). Exploring associations between accident types and activities in construction using natural language processing. *Automation in Construction*, *164*.
- Khattak, W. R., Salman, A., Ghafoor, S., & Latif, S. (2024). Multi-modal LSTM network for anomaly prediction in piston engine aircraft. *Heliyon*, *10*(3).
- Khoa, T. A., Lam, P. D., & Nam, N. H. (2023). An efficient energy measurement system based on the TOF sensor for structural crack monitoring in architecture. *Journal of Information and Telecommunication*, *7*(1), 56-72.

- Kholopo, M., & Rathebe, P. C. (2024). Radon Exposure Assessment in Occupational and Environmental Settings: An Overview of Instruments and Methods. *Sensors*, *24*(10), 2966.
- Kolapo, P., Oniyide, G. O., Said, K. O., Lawal, A. I., Onifade, M., & Munemo, P. (2022). An overview of slope failure in mining operations. *Mining*, *2*(2), 350-384.
- Lastrucci, A., Wandael, Y., Orlandi, G., Barra, A., Chiti, S., Gigli, V., . . . Giansanti, D. (2024). Precision Workforce Management for Radiographers: Monitoring and Managing Competences with an Automatic Tool. *Journal of Personalized Medicine*, *14*(7), 669.
- Lee, S. S., Cha, S. M., Ko, B., & Park, J. J. (2023). Extracting fallen objects on the road from accident reports using a natural language processing model-based approach. *IEEE Access*.
- Lemos, J., de Souza, V. B., Falcetta, F. S., de Almeida, F. K., Lima, T. M., & Gaspar, P. D. (2024). Enhancing Workplace Safety through Personalized Environmental Risk Assessment: An AI-Driven Approach in Industry 5.0. *Computers*, *13*(5), 120.
- Lemos, J., de Souza, V. B., Falcetta, F. S., de Almeida, F. K., Lima, T. M., & Gaspar, P. D. (2024). Enhancing Workplace Safety through Personalized Environmental Risk Assessment: An AI-Driven Approach in Industry 5.0. *Computers*, *13*(5), 120.
- Li, J., Miao, Q., Zou, Z., Gao, H., Zhang, L., Li, Z., & Wang, N. (2024). A Review of Computer Vision-Based Monitoring Approaches for Construction Workers' Work-Related Behaviors. *IEEE Access*.

- Li, J., Wang, H., Luo, Y., Zhou, Z. Z., Chen, H., ..., & Wu, J. (2024). Design of AI-Enhanced and Hardware-Supported Multimodal E-Skin for Environmental Object Recognition and Wireless Toxic Gas Alarm. *Nano-Micro Letters*, *16*(1), 256.
- Marfia, G., & Rocchetti, M. (2017). A practical computer based vision system for posture and movement sensing in occupational medicine. *Multimedia Tools and Applications*, *76*, 8109-8129.
- Marques, G., & Pitarma, R. (2019). An Internet of Things-Based Environmental Quality. *Applied Sciences*, *9*(3), 438.
- Márquez-Sánchez, S., Campero-Jurado, I., Herrera-Santos, J., Rodríguez, S., & Corchado, J. M. (2021). Intelligent platform based on smart PPE for safety in workplaces. *Sensors*, *21*(14), 4652.
- Martins, J., Cerqueira, S. M., Catarino, A. W., da Silva, A. F., Rocha, A. M., Vale, J., . . . Santos, C. P. (2024). Integrating sEMG and IMU sensors in an e-Textile smart vest for forward posture monitoring: First steps. *Sensors*, *24*(14), 4717.
- May Tzuc, O., Livas-García, A., Jiménez Torres, M., Cruz May, E., López-Manrique, L. M., & Bassam, A. (2020). Artificial intelligence techniques for modeling indoor building temperature under tropical climate using outdoor environmental monitoring. *Journal of Energy Engineering*, *146*(2).
- Mian, T., Choudhary, A., Fatima, S., & Panigrahi, B. K. (2023). Artificial intelligence of things based approach for anomaly detection in rotating machines. *Computers and Electrical Engineering*, *109*.

- Mishra, S., Jena, L., Tripathy, H. K., & Gaber, T. (2022). Prioritized and predictive intelligence of things enabled waste management model in smart and sustainable environment. *PloS one*, *17*(8).
- Mohd Ghazali, M. H., & Rahiman, W. (2021). Vibration analysis for machine monitoring and diagnosis: a systematic review. *Shock and Vibration*, *2021*(1).
- Mollaei, N., Fujao, C., Silva, L., Rodrigues, J., Cepeda, C., & Gamboa, H. (2022). Human-centered explainable artificial intelligence: Automotive occupational health protection profiles in prevention musculoskeletal symptoms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(15), 9552.
- Moore, P. V. (2020). *Inteligencia artificial en el entorno laboral. Desafíos para los trabajadores*. Obtenido de BBVA Opend Mind:  
<https://www.bbvaopenmind.com/articulos/inteligencia-artificial-en-entorno-laboral-desafios-para-trabajadores/>
- Nath, N. D., Chaspari, T., & Behzadan, A. H. (2018). Automated ergonomic risk monitoring using body-mounted sensors and machine learning. *Advanced Engineering Informatics*, *38*, 514-526.
- Nazari, F., Mohajer, N., Nahavandi, D., Khosravi, A., & Nahavandi, S. (2023). Applied Exoskeleton Technology: A Comprehensive Review of Physical and Cognitive Human–Robot Interaction. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, *15*(3), 1102-1122.
- Newaz, M. T., Ershadi, M., Jefferies, M., & Davis, P. (2024). A critical review of the feasibility of emerging technologies for improving safety behavior on construction sites. *Journal of safety research*, *89*, 269-287.

- Noguera, F. F., Endara, O. W., & Moreira, J. A. (2022). Implementar el Uso de la Inteligencia Artificial para Detectar el Comportamiento del Trabajador en la Prevención de Accidentes Laborales en la Empresa. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 21.
- Noguera, F. F., Endara, O. W., & Moreira, J. A. (2022). Implementar el Uso de la Inteligencia Artificial para Detectar el Comportamiento del Trabajador en la Prevención de Accidentes Laborales en la Empresa. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 21.
- O'Sullivan, P., Menolotto, M., Visentin, A., & O'Flynn, B. &. (2024). AI-Based Task Classification With Pressure Insoles for Occupational Safety. *IEEE Access*.
- Organización Internacional del Trabajo. (17 de septiembre de 2021). *OMS/OIT: Casi 2 millones de personas mueren cada año por causas relacionadas con el trabajo*. Obtenido de ILO: [https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_819802/lang--es/index.htm](https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_819802/lang--es/index.htm)
- Padilla, R. D. (2019). La llegada de la inteligencia artificial a la educación. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 7(14), 260-270.
- Papoutsakis, K., Papadopoulou, G., Maniatakis, M., Papadopoulou, T., Lourakis, M., Pateraki, M., & Varlamis, I. (2022). Detection of physical strain and fatigue in industrial environments using visual and non-visual low-cost sensors. *Technologies*, 10(2).
- Paramasivam, A., Jenath, M., Sivakumaran, T. S., Sankaran, S., Pittu, P. S., & Vijayalakshmi, S. (2024). Development of artificial intelligence edge computing based wearable device for fall detection and prevention of elderly people. *Heliyon*, 10(8).

- Pereira, L. A., Cunha, M. L., Baptista, R. V., Zeitoune, R. C., Faria, M. G., & Gallasch, C. H. (2022). Riscos ocupacionais no trabalho de limpeza hospitalar: percepções de especialistas em segurança e saúde do trabalhador. *Rev. enferm. UERJ*, e67919-e67919.
- Picaut, J., Can, A., Fortin, N., Ardouin, J., & Lagrange, M. (2020). Low-cost sensors for urban noise monitoring networks—A literature review. *Sensors*, 20(8), 2256.
- Pisu, A., Elia, N., Pompianu, L., Barchi, F., Acquaviva, A., & Carta, S. (2024). Enhancing workplace safety: A flexible approach for personal protective equipment monitoring. *Expert Systems with Applications*, 238.
- Pradeep, T., Kumar, D. R., Kumar, N., Wipulanusat, W., Keawsawasvong, S., & Sunkpho, J. (2024). Performance Evaluation and Triangle Diagram of Deep Learning Models for Embedment Depth Prediction in Cantilever Sheet Piles. *Engineered Science*, 28, 1082.
- Praveenchandar, J., Vetrithangam, D., Kaliappan, S., Karthick, M., Pegada, N. K., Patil, P. P., & Umar, S. (2022). IoT-Based Harmful Toxic Gases Monitoring and Fault Detection on the Sensor Dataset Using Deep Learning Techniques. *Scientific Programming*, 2022(1), 7516328.
- Prettner, K. (2023). Stagnant wages in the face of rising labor productivity: The potential role of industrial robots. *Finance Research Letters*, 58.
- Rahardja, U., Aini, Q., Manongga, D., Sembiring, I., & Girinzio, I. D. (2023). Implementation of tensor flow in air quality monitoring based on artificial intelligence. *International Journal of Artificial Intelligence Research*, 6(1).

- Raza, M. Q., & Khosravi, A. (2015). A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1352-1372.
- Rivera-Rojas, L., & Rodríguez-Parra, N. (2023). *Propuesta de diseño para un HUB de innovación en seguridad y la salud en el trabajo en Barranquilla, Colombia*. Barranquilla: Repositorio Universidad Simón Bolívar.
- Rojek, I., Doroczyński, J., Mikołajewski, D., & Kotlarz, P. (2023). Overview of 3D printed exoskeleton materials and opportunities for their AI-based optimization. *Applied Sciences*, 13(14).
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial*. Madrid: Alienta Editorial.
- Roy, S., & Santosh, K. C. (2023). Analyzing overlaid foreign objects in chest X-rays—clinical significance and artificial intelligence tools. *In Healthcare*, 11(3), 308.
- Russ, D. E., Ho, K. Y., Colt, J. S., Armenti, K. R., Baris, D., Chow, W. H., & Friesen, M. C. (2016). Computer-based coding of free-text job descriptions to efficiently identify occupations in epidemiological studies. *Occupational and environmental medicine*, 73(6), 417-424.
- Segal, R., Bradley, W. P., Williams, D. L., Lee, K., Krieser, R. B., Mezzavia, P. M., & Ng, I. (2023). Human-machine collaboration using artificial intelligence to enhance the safety of donning and doffing personal protective equipment (PPE). *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 44(5), 732-735.
- Shen, S., Cheng, C., Yang, J., & Yang, S. (2018). Visualized analysis of developing trends and hot topics in natural disaster research. *PloS one*, 13(1).

- Sinto. (s.f.). *Automatización / Sistemas Robóticos*. Obtenido de <https://sintoamerica.com/product/automation-robotic-systems/?lang=es>
- Smetana, M., Salles de Salles, L., Sukharev, I., & Khazanovich, L. (2024). Highway Construction Safety Analysis Using Large Language Models. *Applied Sciences*, *14*(4), 1352.
- Sridi, C., & Brigui, S. (2023). The use of ChatGPT in occupational medicine: opportunities and threats. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, *35*.
- Sun, Z., Li, H., Bao, Y., Meng, X., & Zhang, D. (2023). Intelligent risk prognosis and control of foundation pit excavation based on digital twin. *Buildings*, *13*(1), 247.
- Sung, W. T., Devi, I. V., Hsiao, S. J., & Fadillah, F. N. (2022). Smart garbage bin based on AIoT. *Intell Automat Soft Comput*, *32*(3), 1387-1401.
- Svertoka, E., Rusu-Casandra, A., Burget, R., Marghescu, I., Hosek, J., & Ometov, A. (2022). LoRaWAN: Lost for localization? *EEE Sensors Journal*, *22*(23), 23307-23319.
- Tamayo, K. D. (2018). Diseño de un modelo de gestión de seguridad y salud en el trabajo. *Contexto*, *7*, 38-46.
- Taylor, W., Hill, D., Adam, R., Cooper, J., Abbasi, Q. H., & Imran, M. A. (2024). WearRF: Hybrid Sensing for Fatigue Detection Using Wearables and RF. *IEEE Sensors Journal*.
- Todolí-Signes, A. (2019). En cumplimiento de la primera Ley de la robótica: Análisis de los riesgos laborales asociados a un algoritmo/inteligencia artificial dirigiendo el trabajo. *Labour & Law Issues*, *5*(2).

- Vanijirattikhan, R., Khomsay, S., Kitbutrawat, N., Khomsay, K., Supakchukul, U., Udomsuk, S., . . . Anusart, K. (2022). AI-based acoustic leak detection in water distribution systems. *Results in Engineering, 15*.
- Xu, L., Zhong, S., Yue, T., Zhang, Z., Lu, X., Lin, Y., . . . Lee, C. (2024). AIoT-enhanced health management system using soft and stretchable triboelectric sensors for human behavior monitoring. *EcoMat*.
- Zermane, A., Tohir, M. Z., Zermane, H., Baharudin, M. R., & Yusoff, H. M. (2023). Predicting fatal fall from heights accidents using random forest classification machine learning model. *Safety science, 159*.