

**Innovaciones tecnológicas en la seguridad y salud en el trabajo en Colombia: una  
revisión documental**

**Diana Vanessa Moreno Avila**

**Trabajo de grado para optar el título de especialista en seguridad y salud en el trabajo**

**Director**

**César Augusto Vera Ávila**

**Magister en Calidad y Gestión Integral**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**Facultad de Ingeniería**

**Especialización en Seguridad y Salud en el Trabajo**

**2024**

### **Dedicatoria**

Dedico principalmente este proyecto a Dios por guiarme, darme fortaleza, entendimiento y salud para llegar a esta etapa de mi vida.

A mi padre y madre por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores y por la motivación constante que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A todos los docentes por su gran apoyo y por su constante formación integral, dedicación y sus conocimientos para la culminación de mis estudios profesionales.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida a las que me encantaría agradecer su amistad, consejos, apoyo y ánimo en los momentos más difíciles de mi carrera.

### **Agradecimientos**

Al docente CÉSAR AUGUSTO VERA ÁVILA, Magister en Calidad y Gestión Integral, por su colaboración, asesoría, sabias enseñanzas y atención, ya que gracias a él fue posible la ejecución de este proyecto en su totalidad.

A la UNIVERSIDAD SANTO TOMAS por contribuir en nuestra formación integral y darme la oportunidad de y convertirme en una profesional integra.

## Contenido

|                                                                                                               | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Introducción .....                                                                                            | 14   |
| 1. Innovaciones Tecnológicas en la Seguridad y Salud en el Trabajo en Colombia: una Revisión Documental ..... | 16   |
| 1.1 Planteamiento del Problema.....                                                                           | 16   |
| 1.2 Justificación.....                                                                                        | 17   |
| 1.3 Objetivos .....                                                                                           | 20   |
| 1.3.1 Objetivo General.....                                                                                   | 20   |
| 1.3.2 Objetivos Específicos .....                                                                             | 20   |
| 2. Estructura temática.....                                                                                   | 21   |
| 3. Marco Referencial.....                                                                                     | 22   |
| 3.1 Marco Teórico .....                                                                                       | 22   |
| 3.1.2 Adopción de tecnología en SST .....                                                                     | 22   |
| 3.1.2 Tecnologías 4.0.....                                                                                    | 24   |
| 3.1.3 Tecnologías Emergentes en SST .....                                                                     | 25   |
| 3.1.4 Innovación en el control de escenarios de riesgos.....                                                  | 27   |
| 3.1.5 Cambio organizacional e innovación tecnológicas .....                                                   | 29   |
| 3.1.6 Estudio Teórico .....                                                                                   | 30   |
| 3.2 Marco Conceptual .....                                                                                    | 32   |
| 3.2.1 Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) .....                                                             | 32   |
| 3.2.2 Innovación Tecnológica .....                                                                            | 32   |
| 3.2.3 Inteligencia Artificial (IA).....                                                                       | 32   |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.4 Big Data.....                                           | 32 |
| 3.2.5 Internet de las Cosas (IoT).....                        | 33 |
| 3.2.6 Realidad Aumentada (RA) .....                           | 33 |
| 3.2.7 Ergonomía Digital .....                                 | 33 |
| 3.2.8 Cultura de Seguridad .....                              | 33 |
| 3.2.9 Gestión del Cambio en SST .....                         | 33 |
| 3.2.10 Capacitación y Desarrollo .....                        | 34 |
| 3.3 Marco Legal .....                                         | 34 |
| 3.4 Marco Normativo .....                                     | 35 |
| 4. Diseño metodológico .....                                  | 36 |
| 4.1 Alcance y limitaciones. ....                              | 36 |
| 4.2 Enfoque .....                                             | 37 |
| 4.3 Población y muestra .....                                 | 37 |
| 4.4 Fases de trabajo .....                                    | 39 |
| 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos..... | 40 |
| 5. Desarrollo.....                                            | 42 |
| 5.1 Revisión Documental .....                                 | 42 |
| 5.1.1 Inteligencia artificial.....                            | 48 |
| 5.1.2 Iot (internet of things) or Wereable en SST .....       | 53 |
| 5.1.3 Robótica y automatización .....                         | 56 |
| 5.1.4 Drones.....                                             | 59 |
| 5.1.5 Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR).....    | 60 |
| 5.1.6 Big Data y Análisis Predictivo .....                    | 61 |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 5.1.7 Impresión 3D .....                                  | 62 |
| 5.2 Análisis contextual Colombia .....                    | 62 |
| 5.2.1 Generalidades de innovación en SST en Colombia..... | 62 |
| 5.2.2 Costo Beneficio .....                               | 64 |
| 5.2.3 Casos de éxito en Colombia .....                    | 66 |
| 5.3 Recomendaciones y buenas practicas .....              | 71 |
| 6. Conclusiones .....                                     | 78 |
| 6.1 Continuidad del proyecto .....                        | 80 |
| Referencias Bibliográficas .....                          | 82 |
| Apéndices.....                                            | 91 |

## Lista de Tablas

|                                                                                                 | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Tabla 1.</b> Estructura temática de la Monografía .....                                      | 21   |
| <b>Tabla 2.</b> Factores de adopción de tecnología .....                                        | 23   |
| <b>Tabla 3.</b> Aspectos claves del cambio organizacional.....                                  | 30   |
| <b>Tabla 4.</b> Normas Generales .....                                                          | 34   |
| <b>Tabla 5.</b> Base de normas internacionales .....                                            | 35   |
| <b>Tabla 6.</b> Método de selección de la muestra .....                                         | 38   |
| <b>Tabla 7.</b> Fases de trabajo.....                                                           | 39   |
| <b>Tabla 8.</b> Recopilación de literatura relacionada.....                                     | 41   |
| <b>Tabla 9.</b> Tipos de innovación tecnológicas halladas en la extracción de información ..... | 44   |
| <b>Tabla 10.</b> Bibliografía seleccionada por tipo de tecnología.....                          | 45   |
| <b>Tabla 11.</b> Hallazgos de revisión en contexto con la IA en SST.....                        | 50   |
| <b>Tabla 12.</b> Técnicas de IA en SST.....                                                     | 52   |
| <b>Tabla 13.</b> Aplicación de IoT en SST.....                                                  | 54   |
| <b>Tabla 14.</b> Aplicación de la robótica y automatización en la SST .....                     | 58   |
| <b>Tabla 15.</b> Técnicas de aplicación con drones en SST .....                                 | 59   |
| <b>Tabla 16.</b> Técnicas VR/AR en SST .....                                                    | 61   |
| <b>Tabla 17.</b> Aplicación de big data y análisis predictivo .....                             | 61   |
| <b>Tabla 18.</b> Técnicas de impresión 3D en SST .....                                          | 62   |
| <b>Tabla 19.</b> Análisis de implementación de la innovación en SST en Colombia .....           | 64   |
| <b>Tabla 20.</b> Evaluación costo - beneficio .....                                             | 65   |
| <b>Tabla 21.</b> Estrategias implementadas por Ecopetrol.....                                   | 67   |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 22.</b> Estrategias tecnológicas del grupo ARGOS ..... | 69 |
| <b>Tabla 23.</b> Síntesis de casos exitosos .....               | 70 |
| <b>Tabla 24.</b> Estrategias de implementación .....            | 72 |
| <b>Tabla 25.</b> Matriz de recomendaciones .....                | 75 |

### Lista de Figuras

|                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                             | Pág. |
| <b>Figura 1.</b> Estructura de análisis de la información.....              | 40   |
| <b>Figura 3.</b> Síntesis de revisión documental .....                      | 43   |
| <b>Figura 4.</b> Técnicas de IA en SST .....                                | 52   |
| <b>Figura 5.</b> Análisis visual del costo beneficio .....                  | 66   |
| <b>Figura 6.</b> Esquema organizacional tecnológico operativo del ICP ..... | 67   |
| <b>Figura 7.</b> Impresoras 3D del grupo Argos .....                        | 69   |

## Resumen

Esta monografía explora la implementación de tecnologías innovadoras en seguridad y salud en el trabajo (SST) en el contexto internacional, nacional y local, haciendo uso de la revisión sistemática de la información, recurriendo a bases de datos científicas para obtener los estudios relacionados con la temática en un lapso de tiempo de 10 años, y ser categorizadas mediante su pertinencia y coherencia con el fin del estudio, hallando estrategias en inteligencia artificial, IoT, drones y realidad virtual. Encontrando que las empresas colombianas líderes, como Grupo Argos y Ecopetrol, han integrado estas tecnologías, enfrentando desafíos de inversión y capacitación; los resultados destacan las ventajas en eficiencia y seguridad, identificando áreas clave para la mejora de la SST. El estudio concluye con una guía de implementación para que las empresas tengan en cuenta al momento de incorporar tecnologías 4.0 en la seguridad y salud en el trabajo, abordando desde el diagnóstico hasta la evaluación.

**Palabras Clave:** *Industria 4.0, Tecnologías en Seguridad y Salud en el trabajo, Análisis de Riesgos, Tecnología Avanzada, Inteligencia Artificial en Seguridad y Salud en el trabajo.*

### **Abstract**

This monograph explores the implementation of innovative technologies in occupational safety and health (OSH) in Colombia, utilizing a systematic review of information through scientific databases to gather research related to the topic over a span of 10 years, and categorizing it based on its relevance and coherence with the purpose of the study. It finds strategies in artificial intelligence, IoT, drones, and virtual reality. It is observed that leading Colombian companies, such as Grupo Argos and Ecopetrol, have integrated these technologies, facing challenges in investment and training. The results highlight the advantages in efficiency and safety, identifying key areas for the improvement of OSH. The study concludes with an implementation guide for companies to consider when incorporating 4.0 technologies in occupational safety and health, covering from diagnosis to evaluation.

**Keywords:** *Industry 4.0, Technologies in OHS, Risk Analysis, Advanced Technology, Artificial Intelligence in Occupational Safety and Health.*

## Glosario

**SST (Seguridad y Salud en el Trabajo):** conjunto de disciplinas enfocadas en la prevención de accidentes laborales y enfermedades profesionales, promoviendo un entorno de trabajo seguro y saludable (Álvarez Contreras et al., 2022).

**Tecnologías 4.0:** término que se refiere a las tecnologías emergentes asociadas con la cuarta revolución industrial, incluyendo inteligencia artificial, IoT, robótica avanzada y análisis de datos, aplicadas para mejorar la eficiencia y seguridad en el lugar de trabajo (G. Bernal et al., 2017).

**Inteligencia Artificial (IA):** rama de la informática que desarrolla sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el análisis de riesgos y la toma de decisiones en SST (Howard, 2019).

**IoT (Internet de las Cosas):** red de objetos físicos ("cosas") que están equipados con sensores, software y otras tecnologías para conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet, utilizado en SST para monitorear las condiciones de trabajo y la salud de los empleados (Wu et al., 2018).

**Wearables:** dispositivos electrónicos portátiles que se pueden llevar en el cuerpo como accesorios o implantes, utilizados en SST para monitorear signos vitales de los trabajadores y alertar sobre condiciones peligrosas (Svertoka et al., 2021).

**EPP (Equipo de Protección Personal):** equipos o dispositivos proporcionados a los trabajadores para protegerlos de riesgos específicos en su trabajo, como cascos, gafas de seguridad y guantes (Huang et al., 2018).

**Ergonomía:** ciencia que estudia la eficiencia y comodidad en el entorno de trabajo, centrada en la adaptación del trabajo a las capacidades y necesidades de los trabajadores (Flor-Unda et al., 2023).

**Riesgos Laborales:** factores potenciales en el entorno laboral que pueden causar daño, incluyendo riesgos físicos, químicos, biológicos y psicosociales (Sánchez-Zuluaga et al., 2023).

**Cultura de Seguridad:** conjunto de valores, creencias y comportamientos compartidos en una organización que enfatizan la importancia de la seguridad y salud en el trabajo. (Espino-Rodríguez & Gebril Taha, 2023)

**Análisis de Riesgos:** proceso de identificar y evaluar factores de riesgo en el lugar de trabajo para implementar medidas de prevención y control adecuadas (Flor-Unda et al., 2023).

**Matriz de Extracción:** Herramienta utilizada en la investigación para organizar y sintetizar los datos extraídos de documentos, estudios o fuentes de información relevantes. Facilita la comparación y el análisis de la información recogida, permitiendo al investigador identificar patrones, temas, diferencias y similitudes entre los estudios revisados. Comúnmente incluye columnas para datos como autores, año de publicación, metodología, población de estudio, resultados clave y conclusiones.

**Análisis Cualitativo:** Método de investigación que se enfoca en comprender fenómenos según las cualidades o la naturaleza intrínseca de los datos no numéricos, busca interpretar aspectos como los significados, símbolos, emociones, y procesos en contextos específicos (Hernández et al., 2014).

**Revisión Sistemática de la Información:** Proceso metodológico que implica la búsqueda, evaluación y síntesis de todas las investigaciones disponibles y pertinentes sobre una pregunta específica de investigación; su objetivo es identificar, seleccionar y analizar críticamente todos los

estudios relevantes para responder a dicha pregunta, minimizando el sesgo mediante el uso de criterios de selección explícitos y reproducibles (Bernal, 2016).

**Ecuaciones Booleanas:** Expresiones que utilizan operadores booleanos (AND, OR, NOT) para combinar términos de búsqueda en bases de datos y motores de búsqueda, estos permiten refinar y especificar las búsquedas para incluir, excluir o combinar conceptos, mejorando la eficiencia y precisión en la recuperación de la información (Vasquez et al., 2021).

## **Introducción**

En la actualidad, la seguridad y salud en el trabajo (SST) se ha convertido en un aspecto críticos para la sostenibilidad y el éxito de las organizaciones. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos y normativos, persisten desafíos significativos en la implementación efectiva de prácticas de SST (Moreno-Jacobo et al., 2021); razón por la cual esta investigación surge de la necesidad de explorar estrategias y herramientas innovadoras que puedan mejorar la seguridad laboral y prevenir accidentes en diversos entornos industriales incorporándose las tecnologías 4.0.

Desde el enfoque histórico, la SST ha evolucionado con estrategias más proactivas y basadas en la tecnología; a pesar de esto, la literatura revela que muchas empresas aún luchan con la integración efectiva de estas tecnologías en sus procesos de trabajo (Colim et al., 2021). Este estudio se basa en investigaciones previas que han examinado la eficacia de diversas tecnologías en la mejora de la SST, pero busca ir más allá al proponer un marco integrado y práctico para su implementación en el contexto colombiano.

Así las cosas, se identificaron y destacaron las tecnologías y metodologías que puedan ser eficazmente incorporadas en los sistemas de SST de las empresas, maximizando así la seguridad y el bienestar de los trabajadores.

Asimismo, se hace corroboración en la hipótesis de que una implementación efectiva de tecnologías avanzadas (4.0) en SST puede conducir a una reducción significativa de los riesgos laborales y mejorar la cultura de seguridad en las organizaciones. De tal forma, para abordar este problema, la investigación adopta un enfoque cualitativo, recopilando y analizando datos de múltiples fuentes, incluidas entrevistas con expertos en SST, revisiones de estudios de caso y análisis de literatura científica y gris existente. Este enfoque permite una comprensión profunda y

contextualizada de las prácticas de SST y facilita la identificación de estrategias efectivas para su mejora.

Por consiguientes, en la metodología se realizó una revisión documental para comprender el panorama de las innovaciones tecnológicas en la seguridad y salud en el trabajo (SST), abarcando perspectivas internacionales, nacionales y locales; arrojando como resultados una serie de avances tecnológicos clave que están transformando el campo de SST, como la inteligencia artificial, utilizada para la predicción de riesgos y la optimización de protocolos; los IoT y wearables para el monitoreo en tiempo real de las condiciones laborales; el uso de drones en la inspección de áreas de difícil acceso; y la realidad virtual y aumentada, especialmente efectiva en la capacitación de situaciones de alto riesgo.

Al enfocarse en el contexto colombiano, el estudio identificó tanto ventajas como desafíos en la implementación de estas tecnologías. Empresas líderes como Grupo Argos, Ecopetrol, y las clínicas de la Costa y Porto Azul han demostrado cómo la integración de estas innovaciones puede mejorar significativamente la eficiencia, seguridad y capacitación en SST. Sin embargo, se destacó la necesidad de inversiones significativas, formación especializada del personal y adaptación a diferentes entornos industriales como desafíos clave.

Respondiendo a estos hallazgos, se desarrolló una guía práctica para la adopción efectiva de tecnologías de SST en empresas colombianas, este protocolo enfatiza la importancia de una evaluación detallada de las necesidades específicas de cada empresa con un diagnóstico, la planificación estratégica, la implementación de programas de capacitación adaptados y la gestión eficaz.

Lo anterior, con el principal objetivo de recomendar a las empresas colombianas las herramientas y conocimientos necesarios para integrar con éxito las innovaciones tecnológicas en

sus prácticas de SST, mejorando así no solo la seguridad y el bienestar de los trabajadores, sino también la sostenibilidad y productividad general de las operaciones.

## **1. Innovaciones Tecnológicas en la Seguridad y Salud en el Trabajo en Colombia: una Revisión Documental**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

En un entorno donde los accidentes de trabajo y las enfermedades laborales pueden tener consecuencias devastadoras tanto para los empleados como para las empresas, la SST emerge como un campo vital que busca mitigar estos riesgos; de tal forma, en Colombia, a pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno y las organizaciones, aún persisten altos índices de accidentes laborales y enfermedades profesionales. Si bien se han implementado diversas políticas y regulaciones para mejorar la seguridad y salud en el trabajo, es necesario evaluar el impacto potencial de las innovaciones tecnológicas como una herramienta para abordar este problema.

De acuerdo con Macías, (2022) a medida que la tecnología avanza rápidamente, se han desarrollado una amplia gama de innovaciones que pueden tener un impacto significativo en la seguridad y salud en el trabajo; por ejemplo, la introducción de sensores inteligentes, dispositivos portátiles y sistemas de monitoreo remoto que ofrece nuevas oportunidades para identificar y prevenir riesgos laborales.

Además, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático pueden ser utilizados para analizar grandes cantidades de datos y generar alertas tempranas, lo que permitiría una respuesta más rápida y efectiva ante situaciones de riesgo; sin embargo, a pesar de estas prometedoras

innovaciones, su implementación efectiva y su adopción generalizada en el contexto colombiano plantean desafíos significativos (Vallejo-Noguera et al., 2022).

Según el Ministerio de Trabajo de Colombia, en el año 2022 se reportaron más de 121,000 accidentes de trabajo, lo que representa un incremento significativo con respecto a años anteriores (Jaramillo et al., 2019). Estos accidentes no solo tienen un impacto negativo en la vida y la salud de los trabajadores, sino que también generan costos económicos significativos para las empresas y la sociedad en general (Álvarez et al., 2022).

Por un lado, la falta de conocimiento y capacitación adecuada puede limitar la capacidad de las organizaciones para aprovechar al máximo estas tecnologías; además, la inversión requerida para adquirir y mantener estas innovaciones tecnológicas puede ser una barrera para muchas empresas, especialmente las pequeñas y mediana; asimismo, la legislación existente puede no estar actualizada para abordar los desafíos y las implicaciones éticas asociadas con estas nuevas tecnologías

Por consiguiente, es necesario abordar las barreras organizacionales que pueden limitar la adopción de innovaciones tecnológicas en seguridad y salud en el trabajo. Lo que plantea interrogante como ¿Cuáles son las innovaciones tecnológicas para la mejora de la seguridad y salud en el trabajo en Colombia, y cuales podrían ser sus posibles recomendaciones para su implementación en la práctica?

## **1.2 Justificación**

Este estudio surge debido a la relevancia e impacto que tiene abordar la problemática de la seguridad y salud en el trabajo en Colombia, así como explorar el potencial de las innovaciones tecnológicas como herramientas para mejorar estas condiciones laborales , donde a pesar de los

esfuerzos realizados tanto por el Gobierno como por las organizaciones, los altos índices de accidentes y enfermedades laborales en el país indican claramente que se requieren estrategias más efectivas y adecuadas para abordar esta problemática (Claramunt, 2020).

Así las cosas, la adopción de innovaciones tecnológicas en el ámbito laboral puede ofrecer soluciones innovadoras y efectivas para prevenir y controlar los riesgos laborales. En otros países, estas tecnologías han demostrado su potencial en la mejora de la seguridad y salud en el trabajo, sin embargo, en Colombia se evidencia una brecha entre el conocimiento y la implementación de estas tecnologías en comparación con otros países con sistemas más avanzados en materia de prevención de riesgos laboral (Osorio-Vasco, 2021). Por tanto, es necesario comprender los desafíos y obstáculos que impiden su adopción generalizada en el país y explorar las mejores prácticas y recomendaciones específicas para superarlos.

La presente monografía también busca contribuir al conocimiento existente sobre el impacto potencial de las innovaciones tecnológicas en SST, definiendo una metodología de aplicación ante las diferentes innovaciones tecnológicas disponibles y evaluar su aplicabilidad en el contexto colombiano. Esto permitirá identificar tanto los beneficios como los desafíos asociados con su implementación efectiva.

En consecuencia, definir el impacto de la innovación en la SST tiene relevancia potencial en diversos ámbitos; en primer lugar, los resultados y recomendaciones derivados de esta investigación podrán ser utilizados por las autoridades gubernamentales, las organizaciones y los profesionales de SST para fortalecer las políticas y los programas relacionados con la gestión de la SST; además, las empresas y empleadores podrán beneficiarse al comprender el valor y las ventajas que las innovaciones tecnológicas pueden aportar a la prevención de accidentes y enfermedades laborales. Esto, a su vez, puede mejorar la productividad y la calidad del trabajo; los

trabajadores también se verán beneficiados al contar con entornos laborales más seguros y saludables, lo cual contribuirá a su bienestar general y a una mejor calidad de vida (Hermida, 2020).

De tal forma, la necesidad de abordar la problemática de la SST y explorar el potencial de las innovaciones tecnológicas como herramientas para mejorar estas condiciones laborales. El estudio teórico y el análisis crítico de las innovaciones tecnológicas y su implementación efectiva permitirán generar recomendaciones prácticas y contribuir al avance en la promoción de ambientes laborales más seguros y saludables en el país.

Finalmente, se toma la elección de una monografía compilativa para abordar "Innovaciones tecnológicas en la SST en el País" se justifica al requerir una visión completa y actualizada de los avances en este campo. Este tipo de enfoque permite sintetizar investigaciones académicas, informes gubernamentales y proyectos empresariales, ofreciendo una perspectiva integral de tendencias, desafíos y oportunidades en el uso de inteligencia artificial.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Analizar las innovaciones tecnológicas para la mejora de la seguridad y salud en el trabajo en Colombia de los últimos 5 años, a través de un estudio teórico estableciendo las ventajas, desafíos y recomendaciones para su implementación efectiva.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Realizar una revisión documental, sobre las innovaciones tecnológicas asociadas a la mejora de la seguridad y salud en el trabajo desde el contexto internacional, nacional y local.
- Identificar las ventajas y desafíos asociados con la implementación de las innovaciones tecnológicas en el contexto colombiano, considerando factores como la inversión requerida, la capacitación del personal y la adaptabilidad a diferentes sectores industriales.
- Formular las recomendaciones y buenas prácticas para la implementación efectiva de las innovaciones tecnológicas en la seguridad y salud en el trabajo en Colombia estableciendo las acciones específicas de aplicación.

## 2. Estructura temática

De acuerdo con los objetivos planteados, para organizar sistemáticamente el análisis y discusión, la estructura temática se ha diseñado meticulosamente. De tal forma, se presenta la **Tabla 1**. La cual servirá como un esquema para enfocar a través de los diversos aspectos de las innovaciones tecnológicas, abarcando desde una perspectiva global hasta particularidades nacionales y locales. Se prestará especial atención a las ventajas y desafíos de la implementación de tales tecnologías, así como a las estrategias recomendadas para su integración efectiva en los entornos industriales de Colombia.

**Tabla 1.**

Estructura temática de la Monografía

| Capítulo/Sección                                            | Tema                                                | Subtemas                                                                         | Enfoque                                                                           |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Marco Referencial                                           | Fundamentos de las innovaciones tecnológicas en SST | - Definiciones clave<br>- Contexto internacional, nacional y local               | Presentar las bases conceptuales de las innovaciones en SST.                      |
| Innovaciones Tecnológicas en SST: Perspectiva Internacional | Uso de tecnología avanzada en SST globalmente       | - Ejemplos internacionales<br>- Tendencias y desarrollos recientes               | Comparar la situación de Colombia con el contexto internacional.                  |
| Estado Actual de la SST en Colombia                         | Desarrollo tecnológico en SST                       | - Iniciativas colombianas<br>- Comparativa con estándares internacionales        | Analizar la situación actual de las innovaciones tecnológicas en SST en Colombia. |
| Ventajas de las Innovaciones Tecnológicas                   | Beneficios en el contexto colombiano                | - Prevención de riesgos<br>- Eficiencia y efectividad<br>- Cultura de prevención | Explorar cómo las innovaciones tecnológicas mejoran la SST en Colombia.           |
| Desafíos en la Implementación                               | Barreras y dificultades                             | - Inversión y recursos<br>- Capacitación del personal<br>- Adaptación sectorial  | Identificar desafíos en la implementación de innovaciones tecnológicas en SST.    |
| Recomendaciones y Buenas Prácticas                          | Estrategias de implementación                       | - Acciones para implementación<br>- Buenas prácticas y casos de éxito            | Proponer recomendaciones para la adopción efectiva de las tecnologías en SST.     |
| Conclusiones                                                | Síntesis y                                          | - Resumen de hallazgos                                                           | Concluir sobre las                                                                |

| Capítulo/Sección | Tema         | Subtemas              | Enfoque                                                |
|------------------|--------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|
|                  | perspectivas | - Reflexiones finales | implicaciones de las innovaciones tecnológicas en SST. |

### 3. Marco Referencial

#### 3.1 Marco Teórico

El estudio "Innovaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y salud en el trabajo en Colombia: Una revisión documental" se basa en diversas teorías y conceptos clave relacionados con la seguridad y salud en el trabajo, así como con la adopción de innovaciones tecnológicas. En lugar de centrarse en la recopilación de datos empíricos, la investigación se orienta hacia la revisión y el análisis crítico de la literatura científica y técnica disponible. Este enfoque busca establecer un contexto teórico sólido que permita comprender el impacto potencial de las innovaciones tecnológicas en la mejora de las condiciones laborales en Colombia.

La exploración teórica abarcará diversas perspectivas, incluyendo teorías de prevención de riesgos, control de riesgos, adopción de tecnología, cambio organizacional y ergonomía, entre otras. El objetivo es examinar las distintas dimensiones que influyen en la relación entre la tecnología y la seguridad y salud en el trabajo. Cada uno de estos fundamentos teóricos contribuirá a proporcionar una base conceptual sólida que respalde el análisis y las conclusiones del estudio. En última instancia, se espera que esta aproximación teórica enriquezca la comprensión de las implicaciones de las innovaciones tecnológicas en el ámbito laboral colombiano.

##### 3.1.2 Adopción de tecnología en SST

Aplicar la teoría de adopción de tecnología en SST, ayudara a comprender los desafíos y las barreras que enfrenta la implementación de innovaciones tecnológicas en seguridad y salud en

el trabajo en Colombia (Noussan Lettry, 2020), para la cual se consideran aspectos como la percepción de utilidad, la facilidad de uso, los recursos necesarios, las barreras organizativas y la cultura empresarial.

De igual forma, Pachas Gutierrez, (2021) se centra en comprender los factores que influyen en la adopción y la difusión de tecnologías en las organizaciones. En el contexto de la seguridad y salud en el trabajo, esta teoría es crucial para analizar cómo se adoptan e implementan las innovaciones tecnológicas en el ámbito laboral y cómo pueden influir en la mejora de las condiciones de trabajo.

De acuerdo con Pedraja-Rejas et al., (2020) la teoría de la adopción de tecnología considera múltiples factores que pueden afectar la adopción de tecnologías en el entorno laboral. Algunos de estos factores incluyen los mencionados en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.**  
Factores de adopción de tecnología

| <b>Factor</b>          |  | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                            |
|------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Percepción de utilidad |  | Se refiere a cómo los trabajadores y la dirección perciben los beneficios de la tecnología para la mejora de la SST, incluyendo la reducción de riesgos y la mejora de la eficiencia en gestión de seguridad. |
| Facilidad de uso       |  | Destaca la importancia de que la tecnología sea intuitiva y fácil de manejar, lo que facilita su adopción y minimiza la resistencia de los usuarios.                                                          |
| Recursos necesarios    |  | Analiza la necesidad de recursos como infraestructura, equipos y formación para la adopción tecnológica, y cómo la disponibilidad de estos recursos afecta la decisión de implementar nuevas soluciones.      |
| Barreras organizativas |  | Identifica las barreras internas de la organización, como la cultura corporativa y la resistencia al cambio, que pueden obstaculizar la adopción de nuevas tecnologías.                                       |
| Cultura de seguridad   |  | Considera el papel de la cultura de seguridad preexistente en la organización y cómo esta puede fomentar o desalentar la adopción de tecnologías para mejorar la SST.                                         |

Nota. Adaptado de Pedraja-Rejas et al. (2020)

La teoría de la adopción de tecnología es relevante para la monografía, ya que permite comprender los factores que pueden facilitar o dificultar la implementación de innovaciones tecnológicas en el ámbito laboral en Colombia. Al analizar y aplicar esta teoría, se podrán

identificar las barreras y desafíos que limitan la adopción generalizada de tecnologías en SST. Además, se podrán proponer estrategias y recomendaciones para superar estas barreras y fomentar la adopción efectiva de tecnologías innovadoras en el ámbito laboral colombiano.

### ***3.1.2 Tecnologías 4.0***

La incorporación de las Tecnologías 4.0 en la SST representa un horizonte de avances significativos que conjugan la innovación con la protección del capital humano, con un enfoque particular en los desarrollos más recientes que están forjando el futuro de los entornos laborales (Osorio-Vasco, 2021).

En la cúspide de la Cuarta Revolución Industrial, se han presenciado transformaciones radicales en los sistemas de producción y gestión de riesgos laborales. Autores como Schwab (2016) destacan que las Tecnologías 4.0 no solo reinventan los procesos, sino que también redefinen las medidas de seguridad y bienestar en el trabajo. La inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT), la robótica avanzada, y la realidad virtual (RV) son solo algunas de las herramientas que están remodelando los protocolos de seguridad (Molina-Zapata, 2021).

La IA, por ejemplo, ha permitido la creación de sistemas predictivos de seguridad. Herramientas como las descritas por Svertoka et al. (2021) utilizan algoritmos para analizar datos y prever incidentes, permitiendo una respuesta proactiva en lugar de reactiva. Por su parte, el IoT integra sensores en el equipamiento de seguridad personal, proporcionando monitoreo en tiempo real de las condiciones de los trabajadores, como se señala Konstantinidis et al. (2020)

La robótica colaborativa, o "cobots", descrita por Howard, (2019) representa otro avance relevante. Estos robots trabajan junto a humanos, no solo para aumentar la eficiencia, sino también para reducir la exposición a tareas peligrosas. La RV y la realidad aumentada (RA), se utilizan

para simular ambientes de trabajo peligrosos en un entorno seguro, lo que permite una formación eficaz en SST sin exponer a los trabajadores a riesgos reales (Diao & Shih, 2019).

Sin embargo, más allá de los avances tecnológicos, la integración efectiva de estas herramientas en los sistemas de SST requiere una comprensión profunda de la dinámica organizacional y humana. Como sugieren Haslam et al. (2019), la interacción entre la tecnología y las personas debe gestionarse cuidadosamente para garantizar que la introducción de nuevas herramientas no solo sea técnicamente exitosa, sino también aceptada y adoptada por aquellos a quienes está destinada a servir.

El reto de la capacitación y la adaptabilidad del personal frente a estas tecnologías se ha vuelto un tema central en la literatura especializada. Alford (2018) aborda la necesidad de programas de formación que acompañen la implementación de Tecnologías 4.0, asegurando que los trabajadores no solo puedan utilizar las nuevas herramientas, sino que también comprendan su relevancia y contribución a un ambiente de trabajo más seguro.

Desde la perspectiva económica, el análisis del retorno de la inversión en tecnologías 4.0 en SST es crucial. La investigación de Alli (2008) subraya la importancia de evaluar los beneficios a largo plazo de estas inversiones, que a menudo incluyen reducciones en los costos asociados a accidentes laborales, mejoras en la productividad y fortalecimiento de la cultura de seguridad.

En el contexto colombiano, la implementación de Tecnologías 4.0 en SST aún enfrenta barreras significativas, incluyendo limitaciones en infraestructura y brechas en habilidades digitales, como se discute en el trabajo de Gómez et al. (2021). Sin embargo, también hay ejemplos prometedores de adaptación y adopción tecnológica que sirven como modelos a seguir.

### ***3.1.3 Tecnologías Emergentes en SST***

Las tecnologías emergentes están revolucionando la prevención de riesgos y la gestión de recursos humanos en el ámbito de la SST. Este nuevo horizonte tecnológico está permitiendo un enfoque proactivo en la identificación y mitigación de peligros potenciales, al mismo tiempo que transforma la gestión del capital humano en entornos laborales.

Dentro del espectro de la prevención de riesgos, herramientas de análisis predictivo impulsadas por la Inteligencia Artificial (IA) están marcando una diferencia significativa. Al procesar grandes volúmenes de datos y aprender de incidentes pasados, estas herramientas proporcionan alertas tempranas y predecibles que ayudan a evitar accidentes. Referencias a autores como Kleinberg et al. (2015), quienes destacan la capacidad de los algoritmos para detectar anomalías, subrayan la importancia de esta tecnología en la anticipación de eventos no deseados.

En la gestión de recursos humanos, plataformas de software especializadas están facilitando una mejor gestión del bienestar de los empleados. Estas soluciones tecnológicas no solo rastrean la salud y seguridad de los trabajadores, sino que también permiten la optimización de las cargas de trabajo y el diseño de entornos laborales que promueven la ergonomía. Estudios como los de Bauer et al. (2012) ilustran cómo la tecnología puede ser utilizada para adaptar el trabajo a las capacidades y necesidades de los empleados, mejorando así su desempeño y satisfacción.

Además, la implementación de dispositivos vestibles está proporcionando una monitorización continua y en tiempo real de los signos vitales de los trabajadores. Con sensores avanzados y la capacidad de comunicarse a través de redes IoT, estos dispositivos pueden alertar sobre fatiga, estrés térmico y otros riesgos fisiológicos, como lo señalan autores como He et al. (2017).

La robótica, por otro lado, está desempeñando un rol clave en la eliminación de la necesidad de que los trabajadores realicen tareas peligrosas. La presencia de robots en el lugar de

trabajo, como destacan investigaciones de Bogue (2013), está reduciendo la exposición a condiciones inseguras y mejorando la seguridad general al asumir trabajos que implican riesgos ergonómicos o de exposición a sustancias peligrosas.

Para Colombia, el desafío es integrar estas tecnologías emergentes en un marco de SST que se adapte a su propio mercado laboral y cultura organizacional. Investigaciones en el contexto colombiano, como las llevadas a cabo por autores nacionales, enfatizan la necesidad de un enfoque adaptado que considere la diversidad de industrias y la variabilidad en los niveles de madurez tecnológica entre las organizaciones.

#### ***3.1.4 Innovación en el control de escenarios de riesgos***

La innovación en el control de los riesgos proporciona un marco para identificar y evaluar los riesgos presentes en el entorno de trabajo, y sugiere estrategias para controlarlos y minimizar su impacto. La aplicación de innovaciones tecnológicas puede desempeñar un papel importante en la implementación de controles efectivos (Llumiquinga Loya, 2020).

El control de riesgos centra en el análisis y la gestión de los riesgos laborales, con el objetivo de controlarlos y minimizar su impacto en el entorno de trabajo, esta parte de la premisa de que los riesgos laborales deben ser identificados, evaluados y controlados de manera sistemática y efectiva (Ávila-Álvarez et al., 2020).

En este sentido, se busca analizar los diferentes tipos de riesgos presentes en el entorno laboral, como los riesgos físicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales, entre otros, y, una vez identificados, se procede a evaluar la probabilidad y la gravedad de los riesgos, teniendo en cuenta los posibles efectos en la salud y la seguridad de los trabajadores. La evaluación permite

priorizar los riesgos y determinar las medidas de control más adecuadas (Aguilar-Otero et al., 2010).

De igual forma, este fundamento teórico propone un enfoque jerárquico para la gestión de riesgos, conocido como "principio de jerarquía de control". Este principio establece que se deben aplicar medidas de control en un orden específico para reducir los riesgos (Del Castillo, 2020). Las medidas de control se clasifican en cinco niveles de acuerdo con (Cockburn & Hurtado, 2021):

- Eliminación del riesgo: la medida más efectiva consiste en eliminar completamente el riesgo, por ejemplo, sustituyendo un producto químico peligroso por uno menos tóxico o utilizando maquinaria automatizada en lugar de tareas manuales peligrosas.
- Sustitución del riesgo: cuando no es posible eliminar el riesgo, se busca sustituirlo por uno menos peligroso. Por ejemplo, utilizar materiales o equipos más seguros en lugar de aquellos que representen un mayor riesgo para la salud y la seguridad.
- Controles de ingeniería: se implementan medidas de diseño o ingeniería para controlar el riesgo, como el aislamiento de maquinaria peligrosa, la instalación de sistemas de ventilación o la mejora de la ergonomía de los puestos de trabajo.
- Controles administrativos: estas medidas incluyen la implementación de procedimientos y políticas para controlar los riesgos, como la capacitación de los trabajadores, el establecimiento de protocolos de seguridad y la rotación de tareas para evitar la exposición prolongada a riesgos específicos.
- Equipo de protección personal (EPP): cuando no es posible controlar el riesgo de otra manera, se recurre al uso de EPP, como cascos, gafas de seguridad o respiradores, para proteger a los trabajadores de los peligros.

La teoría del control de riesgos también considera la importancia de la revisión y la mejora continua de los controles implementados. Esto implica monitorear regularmente los riesgos y evaluar la efectividad de las medidas de control, para asegurarse de que sigan siendo adecuadas y proporcionen la protección necesaria.

### ***3.1.5 Cambio organizacional e innovación tecnológicas***

Esta teoría se enfoca en los procesos de cambio en las organizaciones y cómo afectan a los individuos y los sistemas. Proporciona un marco para comprender cómo las innovaciones tecnológicas pueden influir en la cultura organizacional, las estructuras y los procesos de trabajo. Al considerar esta teoría, se pueden identificar estrategias efectivas para facilitar la adopción de tecnologías en el entorno laboral (Maya et al., 2019).

También, se enfoca en comprender los procesos de cambio en las organizaciones y cómo afectan a los individuos y los sistemas. En el contexto de la seguridad y salud en el trabajo, esta teoría es fundamental para analizar cómo las innovaciones tecnológicas pueden influir en la cultura organizacional, las estructuras y los procesos de trabajo (OIT et al., 2018).

De acuerdo con Reyes & Moros, (2020) cambio organizacional parte de la premisa de que las organizaciones deben adaptarse y evolucionar en respuesta a los cambios internos y externos. Al adoptar innovaciones tecnológicas, las organizaciones pueden experimentar cambios significativos en sus prácticas, enfoques y forma de operar en relación con la seguridad y salud en el trabajo.

La teoría considera que el cambio organizacional exitoso requiere la participación y el compromiso de todos los niveles de la organización. Al implementar innovaciones tecnológicas en seguridad y salud en el trabajo, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos de acuerdo con Solarte et al. (2020) (**Tabla 3**).

**Tabla 3.**

Aspectos claves del cambio organizacional

| <b>Aspecto Clave</b>           |    | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Liderazgo y comunicación       | y  | Los líderes deben apoyar activamente la adopción de nuevas tecnologías y comunicar eficazmente su importancia y beneficios, proporcionando guía y soporte durante la implementación.                                |
| Participación de los empleados | de | La implicación de los empleados a través de grupos de trabajo o comités promueve el compromiso y la aceptación de las innovaciones tecnológicas, fomentando la sensación de propiedad y motivación hacia el cambio. |
| Gestión del cambio             |    | Es crucial identificar y manejar resistencias, comprendiendo y atendiendo las preocupaciones de los empleados y proveyendo el soporte y formación necesarios para una transición tecnológica exitosa.               |
| Cultura organizacional         |    | Debe evaluarse la compatibilidad de la cultura organizacional con el cambio tecnológico y ajustarse la misma si es necesario para apoyar nuevas prácticas de SST.                                                   |
| Aprendizaje organizacional     |    | El proceso de cambio debe verse como una oportunidad para el aprendizaje y la mejora continua, incentivando la retroalimentación y la adaptación de las tecnologías para optimizar la seguridad y la salud laboral. |

Nota. Adaptado de (Solarte Solarte et al., 2020)

Al aplicar la teoría del cambio organizacional en el estudio teórico, se podrá comprender cómo las innovaciones tecnológicas en seguridad y salud en el trabajo pueden desencadenar cambios en las organizaciones y qué estrategias son necesarias para facilitar una transición exitosa. Esto permitirá identificar los factores críticos para la implementación efectiva de tecnologías en el entorno laboral colombiano y ofrecer recomendaciones prácticas para superar los desafíos y maximizar los beneficios del cambio.

### 3.1.6 Estudio Teórico

En el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo (SST), un estudio teórico dedicado a explorar las innovaciones tecnológicas se presenta como un esfuerzo intelectual centrado en el análisis detallado de literatura existente, sin la necesidad de generar datos primarios mediante experimentación directa; por consiguiente, este enfoque investigativo se distingue por su metodología de revisión documental, la cual abarca un amplio espectro de fuentes, incluyendo

publicaciones científicas, informes técnicos y estudios de caso, con el objetivo de construir un marco teórico que refleje el estado actual y las perspectivas futuras de la tecnología en SST (Bernal, 2016).

La esencia de este estudio radica en su capacidad para realizar una revisión documental profunda y metódica, haciendo uso de una matriz de extracción, que no solo captura el panorama global de las innovaciones tecnológicas en SST, sino que también contextualiza estos hallazgos dentro del escenario específico colombiano; por tanto este proceso implica un análisis general de la información, donde se ponderan tanto las ventajas como los desafíos a la adopción de nuevas tecnologías en el ámbito laboral, en consecuencia, elementos como el costo de implementación, la formación necesaria para el personal y la adaptabilidad tecnológica a diversos sectores industriales son evaluados minuciosamente (Hernández et al., 2014).

Además, el estudio adopta un enfoque multidisciplinario que integra conocimientos de diversas áreas, tales como la ingeniería, la medicina del trabajo, la psicología laboral y la gestión empresarial (Arefin et al., 2021), dado el espectro amplio de tecnologías que abarca la SST, desde la inteligencia artificial y la robótica hasta dispositivos wearables y sistemas de realidad

Finalmente, el estudio culmina con la formulación de recomendaciones y prácticas óptimas para facilitar la integración efectiva de las innovaciones tecnológicas en la esfera de la SST en Colombia. Se proponen estrategias concretas para abordar los desafíos de implementación, junto con directrices para la capacitación del personal y criterios para evaluar el impacto y retorno de la inversión en tecnología.

Este estudio teórico, por tanto, no solo proporciona una visión comprensiva de las tendencias actuales en tecnología aplicada a la SST, sino que también ofrece un marco práctico y

adaptado a las necesidades y desafíos específicos del contexto colombiano, apoyando así la toma de decisiones informadas para promover entornos laborales más seguros y saludables.

### **3.2 Marco Conceptual**

#### ***3.2.1 Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)***

Refiere a las políticas, programas y prácticas organizacionales diseñadas para prevenir lesiones y enfermedades en el lugar de trabajo y para promover el bienestar de los empleados. Autores como Manuele (2014) han destacado la importancia de la SST como una disciplina integral que abarca múltiples aspectos de la experiencia laboral.

#### ***3.2.2 Innovación Tecnológica***

Implica la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos para generar soluciones que resulten en nuevos o mejorados productos, servicios o procesos. Rogers (2003) es un referente en la teoría de la difusión de las innovaciones, proporcionando un marco para comprender cómo, por qué y a qué velocidad las nuevas ideas y tecnologías se propagan.

#### ***3.2.3 Inteligencia Artificial (IA)***

Se refiere al conjunto de algoritmos y sistemas computacionales que imitan procesos cognitivos humanos, como el aprendizaje y la resolución de problemas. Autores como Russell y Norvig (2016) ofrecen una comprensión exhaustiva de la IA y sus aplicaciones en campos como la SST, donde puede usarse para predecir accidentes o identificar patrones de riesgo.

#### ***3.2.4 Big Data***

Consiste en el análisis y gestión de volúmenes extremadamente grandes de datos que no pueden ser procesados de manera convencional. Mayer-Schönberger y Cukier (2013) exploran cómo el Big Data transforma la toma de decisiones, incluyendo la identificación de tendencias en seguridad laboral y la predicción de riesgos.

### ***3.2.5 Internet de las Cosas (IoT)***

Es la interconexión digital de objetos cotidianos con dispositivos habilitados para internet. Ashton (2009), quien acuñó el término, explica cómo el IoT puede mejorar la eficiencia, la precisión y la toma de decisiones económicas, incluyendo en el ámbito de la SST con la monitorización remota de las condiciones de trabajo.

### ***3.2.6 Realidad Aumentada (RA)***

Combina elementos virtuales con el entorno real del usuario, mejorando la percepción del mundo real con información digital adicional. Azuma (1997) es uno de los pioneros en RA, que puede aplicarse a la formación en SST para simular escenarios de riesgo sin exponer a los trabajadores a peligros reales.

### ***3.2.7 Ergonomía Digital***

Aplica principios de diseño que consideran las interacciones humanas con sistemas digitales, buscando maximizar la comodidad y la eficacia. Hedge (2008) aborda la ergonomía en contextos de trabajo y cómo la tecnología puede adaptarse para mejorar la salud y la productividad.

### ***3.2.8 Cultura de Seguridad***

Engloba las creencias y comportamientos organizacionales que reflejan la importancia de la seguridad. Schein (2010) se refiere a la cultura organizacional como un conjunto complejo de normas y valores que influyen en cómo se abordan los temas de seguridad y que pueden ser decisivos en la adopción de nuevas tecnologías en SST.

### ***3.2.9 Gestión del Cambio en SST***

Implica estrategias organizacionales para facilitar la adaptación a nuevas tecnologías y procesos. Kotter (1996) propone un modelo de gestión del cambio que puede aplicarse a la

implementación de innovaciones en SST, asegurando una transición eficiente y el compromiso del personal.

### 3.2.10 Capacitación y Desarrollo

Se centra en mejorar las competencias relacionadas con la adopción de tecnología en SST. Noe (2017) destaca la importancia del aprendizaje continuo y el desarrollo de habilidades en la era de la tecnología, lo que es vital para la efectividad de las nuevas herramientas en SST.

## 3.3 Marco Legal

La revisión de normas se enfoca en la exposición de leyes, decretos, resoluciones, políticas o normas técnicas, que tienen que ver con la seguridad y salud en el trabajo en Colombia. **Tabla**

4.

**Tabla 4.**  
Normas Generales

| Normas generales |      |                                          |                                                                                                                                                                      |
|------------------|------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma            | Año  | Expide                                   | Descripción                                                                                                                                                          |
| Decreto 2663     | 1950 | Presidente de la Republica               | Código Sustantivo de Trabajo. Título XI. Higiene y Seguridad en el Trabajo. Capítulo I. Único. Artículo 348. Medidas de Higiene y Seguridad.                         |
| Ley 09           | 1979 | Congreso de la República                 | Por la cual se dictan Medidas Sanitaria, Título III Salud Ocupacional.                                                                                               |
| Resolución 2400  | 1979 | Ministerio de Trabajo y Seguridad Social | Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.                                              |
| Decreto 614      | 1984 | Presidente de la Republica               | Por el cual se determinan las bases para la organización y administración de Salud Ocupacional en el país                                                            |
| Resolución 2013  | 1986 | Ministerio de Trabajo                    | Por la cual se reglamenta y fundamenta los Comités de SST. Determina el funcionamiento del COPASST en las empresas y la forma en cómo deben constituirse.            |
| Resolución 1016  | 1989 | Ministerio de Trabajo y Seguridad Social | Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los Programas de Salud Ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país. |
| Decreto 1295     | 1994 | Ministerio de trabajo y                  | Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales.                                                              |

|                 |      |                                    |                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------|------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |      | seguridad social                   | Contempla los aspectos generales que hacen parte del sistema de riesgos profesionales a los que deben atender las empresas en el contexto nacional para el debido manejo y protección del recurso humano.                                  |
| Resolución 1401 | 2007 | Ministerio de la protección social | Por la cual se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo.                                                                                                                                                          |
| Ley 1562        | 2012 | Congreso de la república           | Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de Salud Ocupacional.                                                                                                                   |
| Decreto 1072    | 2015 | Ministerio de Trabajo              | Decreto único Reglamentario del sector Trabajo, aplicable Libro 2, Parte 2 Titulo 4, Capitulo 6 lo relacionado con requisitos para el diseño e implementación del SG-SST.                                                                  |
| Resolución 0312 | 2019 | Ministerio de Trabajo              | Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST                                                                                                                          |
| Resolución 2404 | 2019 | Ministerio de Trabajo              | Establece disposiciones y define criterios para el reporte e investigación de incidentes y accidentes de trabajo, lo que puede tener implicaciones para los sistemas tecnológicos de seguimiento y reporte de eventos relacionados con SST |

### 3.4 Marco Normativo

Dentro del marco normativo, a diferencia del legal, se establecen normas desde el ámbito internacional, las cuales han sido acogidas y se relacionan con esta revisión teórica sobre la innovación tecnológica en SST, de tal forma, en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.**

Base de normas internacionales

| Norma Internacional | Descripción                                                           | Innovación Tecnológica en SST                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 45001:2018      | Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo                 | Establece un marco para mejorar la seguridad utilizando tecnologías emergentes.                     |
| ISO 31000:2018      | Gestión de Riesgos - Principios y Directrices                         | Facilita la integración de tecnologías en la gestión de riesgos laborales.                          |
| ISO 45003:2021      | Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo - Aspectos Psicológicos | Permite abordar el bienestar psicológico, potencialmente a través de tecnologías de monitorización. |

| <b>Norma Internacional</b> | <b>Descripción</b>                                                          | <b>Innovación Tecnológica en SST</b>                                                               |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEC 61508                  | Norma de seguridad funcional de sistemas electrónicos                       | Relevante para la confiabilidad de tecnologías de seguridad en el trabajo.                         |
| ISO/IEC 27001              | Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información                          | Se aplica al manejo seguro de datos en SST, incluyendo la protección de datos personales de salud. |
| ISO 22301                  | Seguridad y Resiliencia - Sistemas de Gestión de la Continuidad del Negocio | Incorpora tecnologías para la continuidad de las funciones de SST durante interrupciones.          |

## 4. Diseño metodológico

### 4.1 Alcance y limitaciones.

La monografía se enfoca en un análisis teórico compilativo de las innovaciones tecnológicas aplicadas a la seguridad y salud en el trabajo en Colombia. Se basa en la revisión de la literatura existente y en la aplicación de teorías y conceptos clave, de tal forma, dentro del alcance, se busca examinar los fundamentos teóricos relevantes, como la teoría de la prevención, la teoría del control de riesgos, la teoría de la adopción de tecnología, la teoría del cambio organizacional y la teoría de la ergonomía, en relación con la seguridad y salud laboral.

De igual forma, se desarrolló una investigación documental para identificar y analizar las innovaciones tecnológicas más relevantes y recientes en el campo de la seguridad y salud en el trabajo en Colombia. Con el fin de brindar recomendaciones prácticas para promover la adopción efectiva de innovaciones tecnológicas en seguridad y salud laboral, basadas en los resultados y análisis teóricos realizados.

En cuanto a las limitaciones, esta monografía, no recurre al empirismo; esto limita la posibilidad de obtener resultados basados en evidencia realizada en la praxis no científica específica. También cuenta con límites de restricción geográfica, ya que se enfoca en el contexto de Colombia y, por lo tanto, las recomendaciones y conclusiones pueden estar limitadas a este

contexto específico. Las condiciones y regulaciones pueden variar en otros países, lo que limita la generalización de los hallazgos.

Otro aspecto relevante en las limitaciones es que la monografía depende de la disponibilidad y acceso a la literatura científica y académica relevante. Si existe una falta de fuentes o información limitada en algunos aspectos, puede haber limitaciones en la profundidad del análisis.

## **4.2 Enfoque**

Aplicando el enfoque cualitativo transversal a la monografía Innovaciones tecnológicas en seguridad y salud en el trabajo en Colombia: una revisión documental, implica abordar el tema desde diferentes perspectivas y contextos para obtener una comprensión completa de cómo las innovaciones tecnológicas basadas en inteligencia artificial están influyendo en la seguridad y salud laboral en Colombia.

En lugar de centrarse en un solo aspecto, con este enfoque se explora una variedad de fuentes y casos para identificar patrones y tendencias emergentes en la implementación tecnología en el ámbito laboral. Se considerarían investigaciones académicas, informes gubernamentales, estudios de casos empresariales y experiencias individuales de trabajadores. Al cruzar estos datos, se podría obtener una imagen más completa de cómo estas innovaciones están impactando tanto en la seguridad como en la salud de los trabajadores en diferentes industrias y regiones de Colombia.

## **4.3 Población y muestra**

Para la población y muestra se hace uso del muestreo cualitativo, el cual se enfoca en seleccionar una variedad de fuentes relevantes y representativas que permitan obtener una

comprensión integral y contextualizada del tema. Por consiguiente, en la **Tabla 6** se presenta el método de selección de la muestra poblacional la cual aplica a la revisión documental.

**Tabla 6.**

Método de selección de la muestra

| Aspecto                  | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Relación con el tema                                                                                                                    |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diversidad de Fuentes    | Se seleccionaron documentos de diferentes tipos, incluyendo investigaciones académicas, informes gubernamentales, casos de estudio empresariales y artículos académicos, que abordaban la intersección entre la innovación tecnológica y la SST en Colombia. Esta diversidad permitió obtener una visión completa del panorama actual y de los últimos 5 años. | Relacionado con realizar una revisión documental sobre las innovaciones tecnológicas en SST.                                            |
| Representatividad        | Se aseguró que las fuentes seleccionadas reflejaran una gama de industrias, regiones geográficas y contextos laborales en Colombia, lo cual ayudó a obtener una comprensión más holística y contextualizada de las innovaciones tecnológicas y su impacto en la SST.                                                                                           | Vinculado con la identificación de ventajas y desafíos de la implementación de las innovaciones tecnológicas en el contexto colombiano. |
| Profundidad y Variedad   | Se incluyeron documentos que ofrecían diferentes niveles de profundidad y variedad en términos de enfoque y contenido, lo que permitió explorar tanto los aspectos técnicos como los impactos sociales, éticos y psicológicos de las innovaciones en SST.                                                                                                      | Asociado con formular recomendaciones y buenas prácticas para la implementación efectiva de tecnologías en SST.                         |
| Actualidad y Pertinencia | Se seleccionaron documentos recientes que reflejaban el estado actual de las innovaciones tecnológicas y su aplicación en la seguridad y salud laboral en Colombia, asegurando la pertinencia y actualización de la información recabada.                                                                                                                      | Relacionado con todas las áreas de los objetivos específicos, manteniendo la revisión actualizada y relevante.                          |
| Credibilidad y Calidad   | Se evaluó la calidad y la credibilidad de las fuentes, optando por información proveniente de entidades confiables y reconocidas en el campo de la SST.                                                                                                                                                                                                        | Vinculado con el soporte de recomendaciones sobre la base de fuentes acreditadas y confiables.                                          |
| Contraste y Diferencias  | Se incluyeron documentos que presentaban diferentes perspectivas, enfoques y opiniones sobre la SST y las innovaciones tecnológicas, lo que permitió identificar                                                                                                                                                                                               | Asociado con la identificación de ventajas y desafíos de la implementación de las innovaciones tecnológicas,                            |

| Aspecto | Descripción                                                       | Relación con el tema                              |
|---------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|         | contradicciones, puntos de acuerdo y áreas de debate en el campo. | resaltando la diversidad de opiniones y enfoques. |

#### 4.4 Fases de trabajo

Para el desarrollo de la monografía, se tendrá en cuenta el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos, de tal forma, en la **Tabla 7**, se presentan las fases, actividades y la descripción de cada una.

**Tabla 7.**  
Fases de trabajo

| Fase de Trabajo                       | Actividades                                                                                                                                                                                                                                                                          | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fase de Revisión Documental           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Búsqueda de literatura sobre Innovación en SST a nivel internacional, nacional y local.</li> <li>- Análisis y síntesis de los documentos encontrados.</li> <li>- Catalogación de la información relevante (Matriz de extracción)</li> </ul> | Se diseñó una matriz de extracción recurriendo a bases de datos científicas, pasando por grandes buscadores como Google Scholar, y algunos más específicos como los vinculados a Elsevier (Scopus, Scient Direct) y para el caso de Latinoamérica la plataforma Scielo. |
| Fase de Análisis Contextual           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación de las ventajas y desafíos específicos de Colombia en términos de inversión, formación y adaptabilidad sectorial.</li> </ul>                                                                                                     | A partir de la revisión documental, se encontraron algunos casos de éxito en Colombia, razón cual, se identificaron los procesos implementados y su éxito en la SST.                                                                                                    |
| Fase de Estrategias y Recomendaciones | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Establecimiento de acciones específicas para la implementación efectiva.</li> <li>- Creación de guías o protocolos para la adopción tecnológica.</li> </ul>                                                                                  | Finalmente, se hizo una guía de recomendaciones y buenas prácticas para la implementación efectiva de innovaciones tecnológicas en SST, junto con un plan de acción.                                                                                                    |

#### 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Para las técnicas de recolección de información se hizo uso de la elaboración de una matriz de extracción, la cual hizo una clasificación sistemática de la información mediante el uso de la herramienta ofimática de Microsoft Excel, categorizando los resultados de diferentes bases de datos, desde la literatura gris hasta la seleccionada para la presentación de resultados; de tal forma, este componente se estableció de la siguiente forma (ver figura 1).

**Figura 1.**

Estructura de análisis de la información



Asimismo, para el uso de las bases de datos se obtuvieron de forma general los siguientes resultados a partir de las formulas booleanas usadas:

"Innovaciones tecnológicas" AND "seguridad y salud en el trabajo" AND "Colombia"

OR "tecnología avanzada" AND "SST" "Colombia"

"inteligencia artificial" OR "IoT" OR "drones" OR "realidad virtual" OR "realidad  
 aumentada" AND "prevención de riesgos"  
 "Technological innovations" AND "occupational safety and health" AND Colombia  
 OR "advanced technology" AND OSH AND Colombia  
 OR "artificial intelligence" OR "IoT" OR "drones" OR "virtual reality" OR "augmented  
 reality" AND "risk prevention")

**Tabla 8.**

Recopilación de literatura relacionada

| Ecuaciones booleanas                                                                                                                       | Scholar | Scopus | Scient Direct | Scielo | Total |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|---------------|--------|-------|
| "Innovaciones tecnológicas" AND<br>"seguridad y salud en el trabajo"<br>AND "Colombia"<br>OR "tecnología avanzada" AND<br>"SST" "Colombia" | 283     | 91     | 136           | 450    | 950   |
| "inteligencia artificial" OR "IoT"<br>OR "drones" OR "realidad virtual"<br>OR "realidad aumentada" AND<br>"prevención de riesgos"          | 172     | 137    | 186           | 241    | 736   |
| "Technological innovations" AND<br>"occupational safety and health"<br>OR "advanced technology" AND<br>OSH AND Colombia                    | 751     | 527    | 461           | 91     | 1830  |
| "Artificial intelligence" OR "IoT"<br>OR "drones" OR "virtual reality"<br>OR "augmented reality" AND<br>"risk prevention")                 | 292     | 387    | 357           | 57     | 1093  |

Nota. Cabe resaltar que los estudios relacionados en Google scholar pertenecen a plataformas o revistas indexadas  
 no incluidas como motores de búsqueda; puesto que este en general contiene artículos que se enumeraron en las otras  
 bases de datos

## **5. Desarrollo**

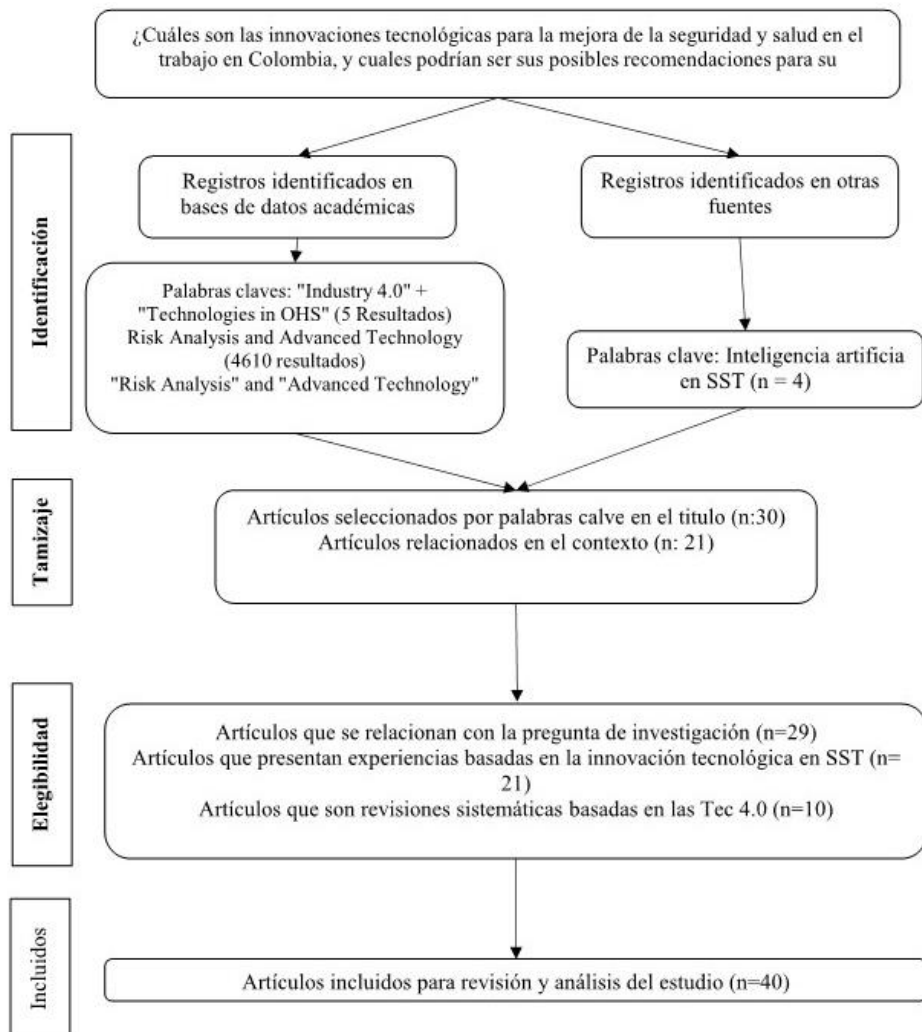
### **5.1 Revisión Documental**

En la realización de la revisión documental, se llevó a cabo una búsqueda de literatura para identificar innovaciones tecnológicas en la seguridad y salud en el trabajo en Colombia, por consiguiente se consultaron bases de datos académicas y otras fuentes, empleando conjuntos de palabras clave cuidadosamente seleccionados; inicialmente, las combinaciones "Industry 4.0" y "Technologies in OHS" resultaron en cinco documentos pertinentes, mientras que "Risk Analysis and Advanced Technology" arrojó un total de 4610 artículos.

Adicionalmente, se investigó la frase "Inteligencia artificial en SST" en otras fuentes, obteniendo cuatro registros más; a partir de estos resultados, se analizaron y filtraron los artículos para determinar su relevancia, enfocándose en aquellos que incluían las palabras clave en el título y aquellos que estaban relacionados con el contexto específico del estudio; posteriormente, en la fase de elegibilidad, se seleccionaron los artículos que estaban directamente relacionados con la pregunta de investigación, aquellos que presentaban experiencias basadas en la innovación tecnológica en SST y las revisiones sistemáticas centradas en las tecnologías 4.0.

Finalmente, se incluyeron cuarenta artículos para la revisión y análisis en profundidad del estudio; este proceso la síntesis de la revisión documental fuera relevante para el campo, por consiguiente, en la figura 2, se presenta su análisis

**Figura 2.**  
Síntesis de revisión documental



De acuerdo con la revisión documental previa, realizado en un proceso sistemático de artículos científicos de diferentes bases de datos, contenidos en la matriz de extracción de información, se obtuvieron unos temas específicos relacionados con las innovaciones tecnológicas en el campo de la seguridad y salud en el trabajo las cuales se enuncian con su respectiva descripción en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.**

Tipos de innovación tecnológicas halladas en la extracción de información

| <b>Innovación Tecnológica</b>                       | <b>Descripción</b>                                                                                             | <b>Aplicaciones en SST</b>                                                                   |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inteligencia Artificial (AI) y Machine Learning     | Sistemas que pueden aprender y mejorar a partir de la experiencia sin ser explícitamente programados.          | Análisis predictivo de riesgos, monitoreo de condiciones laborales.                          |
| Internet de las Cosas (IoT)                         | Red de dispositivos físicos interconectados capaces de recoger y transferir datos a través de una red.         | Sensores de seguridad y monitoreo en tiempo real de condiciones laborales.                   |
| Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR)     | Tecnologías que permiten la simulación de entornos y la superposición de información digital en el mundo real. | Entrenamientos de seguridad y asistencia en tareas con información de seguridad superpuesta. |
| Wearables                                           | Dispositivos electrónicos portátiles que se incorporan en la ropa o se llevan en el cuerpo como accesorios.    | Monitoreo de signos vitales, detección de fatiga, prevención de lesiones.                    |
| Robótica y Automatización                           | Robots y sistemas automáticos diseñados para ejecutar tareas específicas.                                      | Realización de tareas peligrosas o repetitivas, minimizando la exposición humana al riesgo.  |
| Drones                                              | Vehículos aéreos no tripulados controlados de forma remota o autónoma.                                         | Inspecciones de seguridad y monitoreo de instalaciones.                                      |
| Big Data y Análisis Predictivo                      | Proceso de análisis de grandes volúmenes de datos que pueden ser estructurados o no estructurados.             | Identificación de tendencias de riesgos y mejoras en estrategias de prevención.              |
| Plataformas de Gestión de SST                       | Software para la administración de la seguridad y salud laboral.                                               | Gestión integral de la SST, seguimiento de incidentes y cumplimiento de normativas.          |
| Tecnología de Bloqueo y Etiquetado (Lockout/Tagout) | Sistemas para controlar la energía peligrosa durante el servicio o mantenimiento de equipos.                   | Asegurar que las máquinas estén apagadas y no se enciendan durante el mantenimiento.         |
| Sistemas de Ventilación Avanzados                   | Tecnología para controlar el flujo de aire y la calidad del mismo en espacios cerrados.                        | Mantenimiento de la calidad del aire en entornos laborales.                                  |
| Impresión 3D                                        | Fabricación de objetos sólidos a partir de un archivo digital mediante la adición de material capa por capa.   | Creación de equipos de seguridad personalizados y piezas de maquinaria.                      |

Asimismo, en la tabla 10, se determinan los títulos bibliográficos utilizados para la extracción de información, haciendo un análisis de cada uno de los documentos, para poder definir el tipo de aplicación y su efectividad en la industria.

**Tabla 10.**  
Bibliografía seleccionada por tipo de tecnología

| Tecnología              | Referencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inteligencia artificial | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Braband, J., &amp; Schäbe, H. (2020). On safety assessment of artificial intelligence. <i>Dependability</i>, 20(4), 25–34.<br/><a href="https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-4-25-34">https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-4-25-34</a></li> </ul>                                                                                                                                       |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Claramunt, J. C. (2020). La gestión de la información en el paradigma algorítmico: inteligencia artificial y protección de datos. <i>M&amp;I: Métodos de Información</i>, 11(21), 42–58.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Del Castillo, M. del C. A. (2020). El uso de la inteligencia artificial en la prevención de riesgos laborales. <i>Relaciones Laborales y Derecho Del Empleo</i>.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                         |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hermida, A. J. T. (2020). La responsabilidad civil derivada del uso de la inteligencia artificial y su aseguramiento. <i>Revista de La Asociación Española de Abogados Especializados En Responsabilidad Civil y Seguro</i>, 76, 79–104.</li> </ul>                                                                                                                                                 |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. <i>American Journal of Industrial Medicine</i>, 62(11), 917–926.<br/><a href="https://doi.org/10.1002/ajim.23037">https://doi.org/10.1002/ajim.23037</a></li> </ul>                                                                                                                                                |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarota, M. (2023). Artificial intelligence in the work process. A reflection on the proposed European Union regulations on artificial intelligence from an occupational health and safety perspective. <i>Computer Law &amp; Security Review</i>, 49, 105825.<br/><a href="https://doi.org/10.1016/j.clsr.2023.105825">https://doi.org/10.1016/j.clsr.2023.105825</a></li> </ul>                    |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Macías, M. del C. (2022). La inteligencia artificial para el entorno laboral. Un enfoque en la predicción de accidentes. <i>E-Revista Internacional de La Protección Social</i>, 7(1), 84–101.</li> </ul>                                                                                                                                                                                           |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paltrinieri, N., Comfort, L., &amp; Reniers, G. (2019). Learning about risk: Machine learning for risk assessment. <i>Safety Science</i>, 118, 475–486.<br/><a href="https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.001">https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.001</a></li> </ul>                                                                                                                          |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pishgar, M., Issa, S. F., Sietsema, M., Pratap, P., &amp; Darabi, H. (2021). REDECA: A Novel Framework to Review Artificial Intelligence and Its Applications in Occupational Safety and Health. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>, 18(13), 6705.<br/><a href="https://doi.org/10.3390/ijerph18136705">https://doi.org/10.3390/ijerph18136705</a></li> </ul> |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vallejo-Noguera, F. F., Rubio-Endara, O. W., &amp; others. (2022). Implementar el Uso de la Inteligencia Artificial para Detectar el Comportamiento del Trabajador en la Prevención de Accidentes Laborales en la Empresa. <i>Domino de Las Ciencias</i>, 8(1), 1035–1045.</li> </ul>                                                                                                               |

| Tecnología                   | Referencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IoT –<br>Wearable SST        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bernal, G., Colombo, S., Al Ai Baky, M., &amp; Casalegno, F. (2017). Safety++: Designing IoT and Wearable Systems for Industrial Safety through a User Centered Design Approach. Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, 163–170. <a href="https://doi.org/10.1145/3056540.3056557">https://doi.org/10.1145/3056540.3056557</a></li> <li>• Eslava, H., Rojas, L. A., &amp; Pereira, R. (2015). Implementation of Machine-to-Machine Solutions Using MQTT Protocol in Internet of Things (IoT) Environment to Improve Automation Process for Electrical Distribution Substations in Colombia. Journal of Power and Energy Engineering, 03(04), 92–96. <a href="https://doi.org/10.4236/jpee.2015.34014">https://doi.org/10.4236/jpee.2015.34014</a></li> <li>• Flor-Unda, O., Fuentes, M., Dávila, D., Rivera, M., Llano, G., Izurieta, C., &amp; Acosta-Vargas, P. (2023). Innovative Technologies for Occupational Health and Safety: A Scoping Review. Safety, 9(2), 35. <a href="https://doi.org/10.3390/safety9020035">https://doi.org/10.3390/safety9020035</a></li> <li>• Petz, P., Eibensteiner, F., &amp; Langer, J. (2021). Sensor Shirt as Universal Platform for Real-Time Monitoring of Posture and Movements for Occupational Health and Ergonomics. Procedia Computer Science, 180, 200–207. <a href="https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.157">https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.157</a></li> <li>• Svertoka, E., Saafi, S., Rusu-Casandra, A., Burget, R., Marghescu, I., Hosek, J., &amp; Ometov, A. (2021). Wearables for Industrial Work Safety: A Survey. Sensors, 21(11), 3844. <a href="https://doi.org/10.3390/s21113844">https://doi.org/10.3390/s21113844</a></li> <li>• Wu, F., Wu, T., &amp; Yuce, M. (2018). An Internet-of-Things (IoT) Network System for Connected Safety and Health Monitoring Applications. Sensors, 19(1), 21. <a href="https://doi.org/10.3390/s19010021">https://doi.org/10.3390/s19010021</a></li> </ul> |
| Robótica y<br>automatización | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colim, A., Morgado, R., Carneiro, P., Costa, N., Faria, C., Sousa, N., Rocha, L. A., &amp; Arezes, P. (2021). Lean Manufacturing and Ergonomics Integration: Defining Productivity and Wellbeing Indicators in a Human–Robot Workstation. Sustainability, 13(4), 1931. <a href="https://doi.org/10.3390/su13041931">https://doi.org/10.3390/su13041931</a></li> <li>• Diao, P.-H., &amp; Shih, N.-J. (2019). BIM-Based AR Maintenance System (BARMS) as an Intelligent Instruction Platform for Complex Plumbing Facilities. Applied Sciences, 9(8), 1592. <a href="https://doi.org/10.3390/app9081592">https://doi.org/10.3390/app9081592</a> (Aunque esta referencia combina AR con robótica para el mantenimiento, se incluye aquí por su relevancia en la automatización de procesos de mantenimiento).</li> <li>• Dueñas Ramírez, L. M., &amp; Villegas López, G. A. (2020). Computer science development and technologies associated with industry 4.0 applied to industrial maintenance in Colombia. Journal of Physics: Conference Series, 1513(1), 012002. <a href="https://doi.org/10.1088/1742-6596/1513/1/012002">https://doi.org/10.1088/1742-6596/1513/1/012002</a></li> <li>• Konstantinidis, F. K., Kansizoglou, I., Santavas, N., Mouroutsos, S. G., &amp; Gasteratos, A. (2020). MARMA: A Mobile Augmented Reality</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| Tecnología            | Referencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | <p>Maintenance Assistant for Fast-Track Repair Procedures in the Context of Industry 4.0. <i>Machines</i>, 8(4), 88.<br/> <a href="https://doi.org/10.3390/machines8040088">https://doi.org/10.3390/machines8040088</a> (Similar a Diao y Shih, esta referencia incluye aspectos de automatización y robótica en el contexto de mantenimiento, facilitado por AR).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Drones                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jordan, S., Moore, J., Hovet, S., Box, J., Perry, J., Kirsche, K., Lewis, D., &amp; Tse, Z. T. H. (2018). State-of-the-art technologies for UAV inspections. <i>IET Radar, Sonar &amp; Navigation</i>, 12(2), 151–164.<br/> <a href="https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2017.0251">https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2017.0251</a></li> <li>• Moreno-Jacobo, D., Toledo-Nin, G., Ochoa-Zezzatti, A., Torres, V., &amp; Estrada-Otero, F. (2021). Evaluation of Drones for Inspection and Control in Industry 4.0. In: <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-68655-0_29">https://doi.org/10.1007/978-3-030-68655-0_29</a></li> <li>• Nooralishahi, P., Ibarra-Castanedo, C., Deane, S., López, F., Pant, S., Genest, M., Avdelidis, N. P., &amp; Maldague, X. P. V. (2021). Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies. <i>Drones</i>, 5(4), 106.<br/> <a href="https://doi.org/10.3390/drones5040106">https://doi.org/10.3390/drones5040106</a></li> <li>• Sánchez-Zuluaga, G. J., Isaza-Giraldo, L., Zapata-Madrigal, G. D., García-Sierra, R., &amp; Candelo-Becerra, J. E. (2023). Unmanned Aircraft Systems: A Latin American Review and Analysis from the Colombian Context. <i>Applied Sciences</i>, 13(3), 1801.<br/> <a href="https://doi.org/10.3390/app13031801">https://doi.org/10.3390/app13031801</a></li> <li>• Umar, T. (2021). Applications of drones for safety inspection in the Gulf Cooperation Council construction. <i>Engineering, Construction and Architectural Management</i>, 28(9), 2337–2360.<br/> <a href="https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0369">https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0369</a></li> </ul> |
| Realidad virtual (VR) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diao, P.-H., &amp; Shih, N.-J. (2019). BIM-Based AR Maintenance System (BARMS) as an Intelligent Instruction Platform for Complex Plumbing Facilities. <i>Applied Sciences</i>, 9(8), 1592.<br/> <a href="https://doi.org/10.3390/app9081592">https://doi.org/10.3390/app9081592</a></li> <li>• Konstantinidis, F. K., Kansizoglou, I., Santavas, N., Mouroutsos, S. G., &amp; Gasteratos, A. (2020). MARMA: A Mobile Augmented Reality Maintenance Assistant for Fast-Track Repair Procedures in the Context of Industry 4.0. <i>Machines</i>, 8(4), 88.<br/> <a href="https://doi.org/10.3390/machines8040088">https://doi.org/10.3390/machines8040088</a></li> <li>• Villegas, M. C., Chamorro, M. V., Fandiño-Reyes, A., &amp; Jiménez-Fandiño, L. H. (2023). 3D Printed Larynx as a Novel Simulation Tool for Window Elaboration in Medialization Laryngoplasty. <i>Journal of Voice</i>, 37(5), 798.e1-798.e5.<br/> <a href="https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.05.007">https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.05.007</a></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Big Data              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alhaddad, H., &amp; Al Mubarak, M. (2023). Big Data in Occupational Health and Safety (pp. 541–562). <a href="https://doi.org/10.1007/978-981-99-6101-6_39">https://doi.org/10.1007/978-981-99-6101-6_39</a></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| Tecnología   | Referencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Chen, F., Wang, H., Xu, G., Ji, H., Ding, S., &amp; Wei, Y. (2020). Data-driven safety enhancing strategies for risk networks in construction engineering. <i>Reliability Engineering &amp; System Safety</i>, 197, 106806. <a href="https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106806">https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106806</a></li> <li>Huang, L., Wu, C., Wang, B., &amp; Ouyang, Q. (2018). Big-data-driven safety decision-making: A conceptual framework and its influencing factors. <i>Safety Science</i>, 109, 46–56. <a href="https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.05.012">https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.05.012</a></li> <li>Macías, M. del C. (2022). La inteligencia artificial para el entorno laboral. Un enfoque en la predicción de accidentes. <i>E-Revista Internacional de La Protección Social</i>, 7(1), 84–101. (Aunque se centra en inteligencia artificial, el enfoque predictivo implica el uso de big data y análisis predictivo).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Impresión 3D | <ul style="list-style-type: none"> <li>Arefin, A. M. E., Khatri, N. R., Kulkarni, N., &amp; Egan, P. F. (2021). Polymer 3D Printing Review: Materials, Process, and Design Strategies for Medical Applications. <i>Polymers</i>, 13(9), 1499. <a href="https://doi.org/10.3390/polym13091499">https://doi.org/10.3390/polym13091499</a></li> <li>Argos, G. (2023). Construcción con impresoras 3D. Argos Sostenibilidad.</li> <li>Fillat-Gomà, F., Coderch-Navarro, S., Martínez-Carreres, L., Monill-Raya, N., Nadal-Mir, T., Lalmolda, C., Luján, M., de Haro, C., &amp; Blanch, L. (2020). Integrated 3D printing solution to mitigate shortages of airway consumables and personal protective equipment during the COVID-19 pandemic. <i>BMC Health Services Research</i>, 20(1), 1035. <a href="https://doi.org/10.1186/s12913-020-05891-2">https://doi.org/10.1186/s12913-020-05891-2</a></li> <li>Irfan Ul Haq, M., Khuroo, S., Raina, A., Khajuria, S., Javaid, M., Farhan Ul Haq, M., &amp; Haleem, A. (2022). 3D printing for development of medical equipment amidst coronavirus (COVID-19) pandemic—review and advancements. <i>Research on Biomedical Engineering</i>, 38(1), 305–315. <a href="https://doi.org/10.1007/s42600-020-00098-0">https://doi.org/10.1007/s42600-020-00098-0</a></li> <li>Villegas, M. C., Chamorro, M. V., Fandiño-Reyes, A., &amp; Jiménez-Fandiño, L. H. (2023). 3D Printed Larynx as a Novel Simulation Tool for Window Elaboration in Medialization Laryngoplasty. <i>Journal of Voice</i>, 37(5), 798.e1-798.e5. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.05.007">https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.05.007</a></li> </ul> |

Nota. La bibliografía total para esta sección tuvo 40 artículos de referencia, no todos explícitos en el título, pero si en el contenido de la información

### 5.1.1 Inteligencia artificial

En el campo de la seguridad y salud en el trabajo (SST), la inteligencia artificial (IA) se ha convertido en un tema de vital importancia y estudio en profundidad. Diferentes investigaciones

han contribuido con enfoques variados y perspectivas que buscan integrar la IA en la SST de manera efectiva y regulada.

Un notable ejemplo es el marco REDECA, desarrollado para destacar la función que la IA puede jugar en la anticipación y gestión de riesgos de exposición en entornos laborales (Pishgar et al., 2021). Este marco se valió de la revisión de 260 documentos sobre aplicaciones de IA en cinco sectores industriales, revelando cómo los desarrollos en sensores y sistemas inteligentes podrían fortalecer la SST en áreas como la detección de condiciones peligrosas.

Por otro lado, se ha descrito cómo la digitalización y la IA ofrecen oportunidades significativas para la mejora de los procesos de trabajo y las estructuras organizativas, impactando directamente en la SST (Jeske et al., 2021). Este análisis pone de relieve la necesidad de adaptarse a los cambios que la IA trae al diseño del trabajo y cómo estos pueden influir en la SST.

Además, se ha revisado la evolución de la IA y sus implicaciones para el futuro del trabajo, destacando los retos que presentan las aplicaciones emergentes de la IA y el aprendizaje automático (Howard, 2019). Este enfoque proactivo busca comprender y mitigar los posibles efectos adversos de la IA en la fuerza laboral y su bienestar.

En la esfera regulatoria, las propuestas de la Unión Europea sobre la IA han sido objeto de análisis en relación con la SST (Jarota, 2023). Se argumenta que la normativa propuesta es insuficiente para atender los nuevos riesgos que la IA introduce en los lugares de trabajo, sugiriendo una regulación más dinámica y enfocada en la supervisión efectiva de los empleadores.

La seguridad de los sistemas con IA, especialmente en contextos críticos, también ha sido discutida (Braband & Schäbe, 2020). Se propone reservar un margen dentro del límite de fallos aleatorios peligrosos permitidos para el comportamiento inesperado de los sistemas de IA, lo que es esencial para su implementación segura en industrias donde la seguridad es primordial.

La revisión estructurada de aplicaciones de aprendizaje automático en la evaluación de riesgos de ingeniería revela que la industria automotriz está a la vanguardia en la adopción de estos métodos, con las redes neuronales artificiales como la técnica más prominente (Hegde & Rokseth, 2020). Estos hallazgos son fundamentales para mejorar la evaluación y gestión de riesgos en diversas industrias.

Finalmente, se ha propuesto un enfoque innovador de evaluación de riesgos basado en el aprendizaje automático, utilizando modelos de redes neuronales profundas (DNN), a pesar de reconocer sus limitaciones, este enfoque puede ofrecer apoyo significativo en la toma de decisiones de seguridad (Paltrinieri et al., 2019). Así las cosas, en la **Tabla 11**, se sistematizan los hallazgos significativos del estado del arte inicial en lo que compete con innovación en inteligencia artificial en la SST.

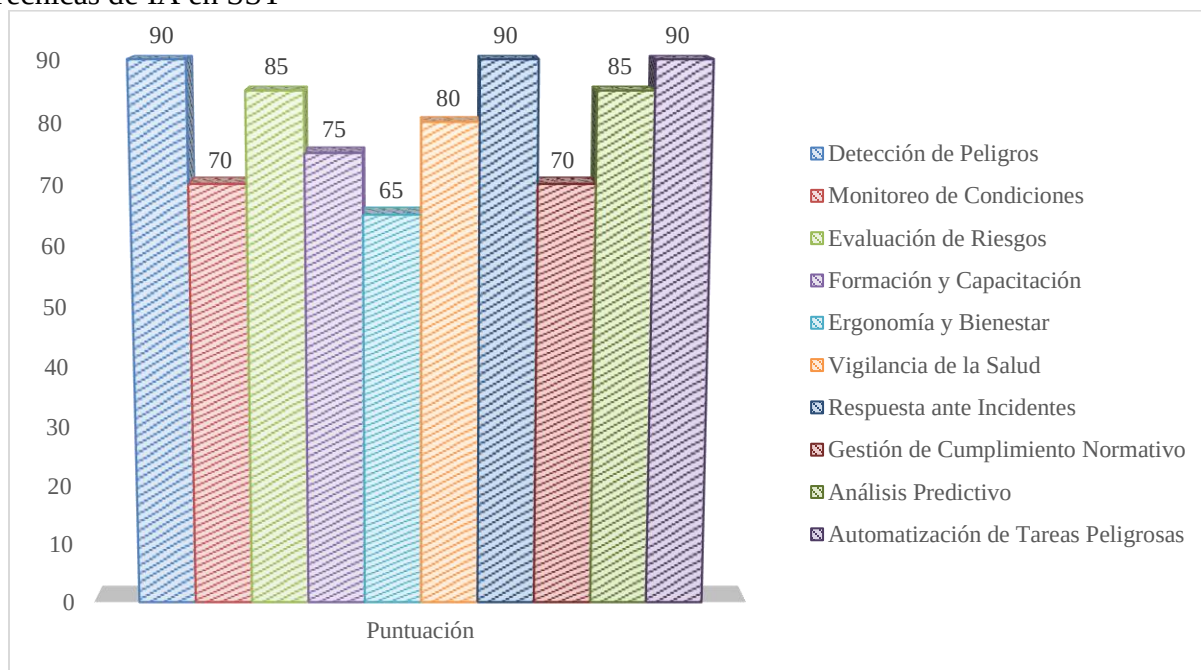
**Tabla 11.**  
Hallazgos de revisión en contexto con la IA en SST

| Estudio                                               | Descripción                                                                                                         | Aplicación en SST                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REDECA                                                | Marco para revisar aplicaciones de IA en OSH, basado en una revisión de documentos en varios sectores industriales. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de sensores inteligentes para la detección de peligros.</li> <li>- Monitoreo de las condiciones de trabajo en tiempo real.</li> </ul>      |
| Oportunidades de digitalización y IA en la producción | Análisis del impacto de la digitalización y la IA en el diseño del trabajo y las estructuras organizativas en SST.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejoras en el diseño del trabajo y estructuras organizativas.</li> <li>- Automatización de tareas peligrosas para reducir riesgos.</li> </ul>  |
| IA: Implicaciones para el futuro del trabajo          | Revisión de los orígenes y aplicaciones de la IA y su impacto en el futuro del trabajo.                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis predictivo y gestión de la interacción humano-máquina.</li> <li>- Estrategias proactivas en SST ante los efectos de la IA.</li> </ul> |
| Propuestas de regulación de la UE sobre IA en SST     | Evaluación de las propuestas de regulación de la UE sobre la IA desde la perspectiva de SST.                        | - Alineación de la IA con cumplimiento normativo y regulaciones de SST.                                                                                                                 |
| Evaluación de la                                      | Enfoque para la evaluación de                                                                                       | - Mejoras en la evaluación de                                                                                                                                                           |

| <b>Estudio</b>                                                                | <b>Descripción</b>                                                                                                     | <b>Aplicación en SST</b>                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| seguridad de la IA                                                            | seguridad en sistemas de IA, enfocándose en modelos estadísticos de aprendizaje automático.                            | riesgos y fiabilidad de sistemas con IA.                                            |
| Aplicaciones de aprendizaje automático en evaluación de riesgos de ingeniería | Revisión de la aplicación de métodos de aprendizaje automático en la evaluación de riesgos en la industria automotriz. | - Mejora en la evaluación de riesgos a través de métodos de aprendizaje automático. |
| Aprender sobre el riesgo con aprendizaje automático                           | Propuesta de un enfoque de evaluación de riesgos con un modelo DNN para escenarios de perforación en petróleo y gas.   | - Uso de modelos DNN para monitoreo y predicción de eventos peligrosos.             |

Cada uno de estos estudios contribuye a una comprensión más rica de cómo la IA puede y debe ser integrada en las prácticas de SST para asegurar que la salud y el bienestar de los trabajadores estén protegidos en la era de la automatización y la digitalización avanzada; de tal forma, a partir de la revisión documental de estudios basados en la inteligencia artificial, se presenta en la Figura 3, las principales técnicas, y una categoría de evaluación de acuerdo con los resultados de los diversos artículos.

**Figura 3.**  
Técnicas de IA en SST



Así las cosas, en la **Tabla 12**, se presenta la descripción de la figura 3 de acuerdo con los puntajes obtenidos por cada una de las técnicas.

**Tabla 12.**  
Técnicas de IA en SST

| Técnica                           | Puntuación | Interpretación                                                                                   |
|-----------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Detección de Peligros             | 90         | La IA es muy eficaz en la identificación de peligros en el lugar de trabajo.                     |
| Monitoreo de Condiciones          | 70         | Eficiente monitoreo de condiciones laborales, pero con margen de mejora.                         |
| Evaluación de Riesgos             | 85         | Algoritmos de aprendizaje automático efectivos en la predicción y evaluación de riesgos.         |
| Formación y Capacitación          | 75         | Buen uso de la IA en la formación de trabajadores, con potencial para mejorar su implementación. |
| Ergonomía y Bienestar             | 65         | Hay tecnología para mejorar la ergonomía, pero no está plenamente aprovechada.                   |
| Vigilancia de la Salud            | 80         | Wearables y sistemas de IA efectivos en monitorizar la salud y detectar problemas tempranos.     |
| Respuesta ante Incidentes         | 90         | IA extremadamente eficaz en la coordinación de respuestas de emergencia.                         |
| Gestión de Cumplimiento Normativo | 70         | La IA es útil para mantener el cumplimiento normativo, aunque se pueden enfrentar desafíos.      |

| Técnica                             |  | Puntuación | Interpretación                                                                          |
|-------------------------------------|--|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Análisis Predictivo                 |  | 85         | IA con capacidad alta para predecir incidentes futuros y facilitar medidas preventivas. |
| Automatización de Tareas Peligrosas |  | 90         | Gran avance de la IA y la robótica en la realización de tareas peligrosas               |

### 5.1.2 Iot (internet of things) or Wearer en SST

La integración del Internet de las Cosas (IoT) en la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) representa un avance significativo en la prevención de riesgos laborales y la promoción de ambientes de trabajo saludables y seguros. A través de los estudios revisados, se desglosan las contribuciones clave y las preocupaciones que envuelven la aplicación de esta tecnología.

En la investigación llevada a cabo por Schall et al. (2018) se identifican las barreras para la adopción de sensores vestibles en el ámbito laboral, destacando que, a pesar de las reticencias, hay un reconocimiento de la utilidad potencial de estas herramientas para el monitoreo de factores de riesgo y métricas de exposición relevantes para la SST. Este enfoque sugiere que superar desafíos como la privacidad de los empleados y la relación costo-beneficio es esencial para fomentar la implementación de tecnologías vestibles conectadas a redes IoT en la industria.

Además, el artículo de Svertoka et al. (2021) examina las aplicaciones de los dispositivos vestibles en la seguridad laboral industrial. Su análisis destaca que el diseño y la funcionalidad de los dispositivos vestibles son fundamentales para monitorear, apoyar, entrenar y rastrear aspectos de seguridad en el trabajo, subrayando el papel crucial de las tecnologías de comunicación y las técnicas de localización en la eficacia de estos dispositivos.

Por otro lado, el estudio realizado por Pasquale et al. (2022) ofrece una visión sobre cómo los dispositivos vestibles monitorean variables significativas para la salud y seguridad de los trabajadores, como el estrés y la fatiga. La revisión de literatura presentada refuerza la noción de

que la monitorización precisa y en tiempo real de factores psicológicos y fisiológicos mediante tecnología vestible es un pilar para la evolución de la SST en la era industrial 4.0.

En conjunto, estos estudios indican que la adopción de IoT en la SST podría marcar un hito en la forma en que las empresas abordan la prevención de riesgos y la protección de sus empleados. La capacidad de proporcionar retroalimentación en tiempo real, mejorar la comunicación entre colegas y acelerar las respuestas de emergencia son solo algunos de los beneficios que las redes de IoT pueden aportar a la seguridad en el lugar de trabajo.

Por tanto, es patente que la unión del IoT con la SST no solo es prometedora sino también desafiante. Requiere de un diálogo continuo entre desarrolladores tecnológicos, profesionales de la seguridad laboral y legisladores para asegurar que la implementación de estas tecnologías no solo sea innovadora sino también respetuosa con los derechos y necesidades de los trabajadores. La futura adopción masiva de estas tecnologías dependerá de cómo se aborden estos desafíos clave, que van desde la aceptación de los usuarios hasta el cumplimiento de las regulaciones de seguridad laboral. De tal forma, en la **Tabla 13**, se presenta la aplicación del IoT, la referencia y su respectiva descripción.

**Tabla 13.**  
Aplicación de IoT en SST

| Área de Aplicación     | Artículo                                                                                                             | Descripción                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vigilancia de la Salud | Wearable devices for health and safety in production systems: a literature review (Pasquale et al., 2022)            | Revisión de literatura sobre dispositivos wearables y cómo pueden mejorar la seguridad en la producción.                         |
|                        | An Internet-of-Things (IoT) Network System for Connected Safety and Health Monitoring Applications (Wu et al., 2018) | Presenta un sistema de red de sensores wereables e IoT para monitorear la seguridad y salud en entornos laborales al aire libre. |
|                        | Wearable devices for health and safety in production systems: a literature review                                    | Examina el uso de dispositivos wereables en sistemas de producción para el monitoreo de la salud y seguridad del                 |

| Área de Aplicación                  | Artículo                                                                                                                                             | Descripción                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | (Pasquale et al., 2022)                                                                                                                              | operador, centrándose en las variables fisiológicas y de movimiento y su relación con el estrés y la fatiga física del trabajador.                                                                                                             |
|                                     | Wearables for Industrial Work Safety: A Survey (Svertoka et al., 2021)                                                                               | Discute el uso de dispositivos wereables para la seguridad en el trabajo industrial, clasificando sus funciones y analizando los desafíos para su implementación.                                                                              |
| Ergonomía y Bienestar               | Sensor Shirt as Universal Platform for Real-Time Monitoring of Posture and Movements for Occupational Health and Ergonomics                          | Desarrollo de una camiseta sensorizada que monitoriza la postura y el movimiento para aplicaciones de SST y ergonomía.                                                                                                                         |
| Detección de Peligros               | Safety++, an IoT ecosystem of connected wearable elements aimed at improving safety in the workplace in the energy industry (G. Bernal et al., 2017) | Descripción de un ecosistema IoT con elementos vestibles conectados diseñados para mejorar la seguridad en el ámbito energético, centrándose en el comportamiento seguro y la respuesta rápida a emergencias.                                  |
| Respuesta ante Incidentes           | An Internet-of-Things (IoT) Network System for Connected Safety and Health Monitoring Applications (Wu et al., 2018)                                 | Detalla cómo un sistema de red de sensores y servidores puede procesar señales de sensores para mostrar datos y activar alertas en circunstancias de emergencia.                                                                               |
| Monitoreo de Condiciones            | An Internet-of-Things (IoT) Network System for Connected Safety and Health Monitoring Applications (Wu et al., 2018)                                 | Sistema híbrido para la recogida de datos ambientales y condiciones del sujeto para mejorar la seguridad en exteriores.                                                                                                                        |
|                                     | Wearables for Industrial Work Safety: A Survey (Svertoka et al., 2021)                                                                               | Categoriza las funciones de los dispositivos vestibles y las métricas recopiladas para entender mejor su papel en la seguridad del lugar de trabajo.                                                                                           |
| Automatización de Tareas Peligrosas | Safety++, an IoT ecosystem of connected wearable elements aimed at improving safety in the workplace in the energy industry (G. Bernal et al., 2017) | Enfatiza el uso de elementos conectados para reforzar prácticas seguras, lo que podría incluir la automatización de tareas para prevenir la exposición humana a peligros.                                                                      |
| Barreras a la Adopción              | Barriers to the Adoption of Wearable Sensors in the Workplace: A Survey of Occupational Safety and Health Professionals (Schall et al., 2018)        | Identifica las barreras que impiden la adopción de sensores vestibles en el lugar de trabajo, como la privacidad de los empleados, el cumplimiento, la durabilidad de los sensores, el costo/beneficio y los requisitos de buenas prácticas de |

| Área de Aplicación                | Artículo                                                                                                                                      | Descripción                                                                                                                                            |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   |                                                                                                                                               | manufactura.                                                                                                                                           |
| Gestión de Cumplimiento Normativo | Barriers to the Adoption of Wearable Sensors in the Workplace: A Survey of Occupational Safety and Health Professionals (Schall et al., 2018) | Menciona el cumplimiento de los empleados y las buenas prácticas de manufactura como barreras, lo cual está relacionado con el cumplimiento normativo. |
| Formación y Capacitación          | Wearables for Industrial Work Safety: A Survey (Svertoka et al., 2021)                                                                        | Indica que los dispositivos vestibles pueden ser utilizados para funciones de apoyo y formación en entornos industriales.                              |

Nota. Adaptado de (Pasquale et al., 2022; Petz et al., 2021; Wu et al., 2018)

### 5.1.3 Robótica y automatización

La integración de robots colaborativos en la fabricación representa un avance significativo tanto para la eficiencia operativa como para la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). En el estudio realizado por Pearce et al. (2018) se destaca un marco de optimización que pretende mejorar conjuntamente el tiempo de producción y la ergonomía en los procesos manufactureros, algo que es de vital importancia en el ámbito de la SST. Este marco no solo anticipa la necesidad de reducir la carga física del trabajador, mediante el uso del índice de tensión para cuantificar el estrés físico, sino que también reconoce la importancia de mantener una alta productividad.

La investigación trasciende el ámbito teórico al probar su marco en seis procesos de fabricación reales que actualmente se realizan de forma manual. Este enfoque práctico demuestra un compromiso con la mejora tangible de las condiciones laborales, reflejando el comportamiento de la SST de proteger la integridad física del trabajador sin sacrificar la eficiencia. Además, al equilibrar la automatización con las necesidades humanas, el estudio subraya la importancia de considerar las limitaciones y capacidades humanas en la transición hacia entornos de trabajo más automatizados.

De acuerdo con Colim et al. (2021) su investigación se centra en el diseño de estaciones de trabajo robóticas colaborativas especialmente orientadas a mejorar las condiciones de trabajadores

con problemas musculoesqueléticos, el objetivo del estudio radica en su enfoque integrador, que busca combinar armónicamente los principios de la Manufactura Esbelta (LM), con las prácticas de Ergonomía y Factores Humanos (E&HF), así como con la dinámica de la Colaboración Humano-Robot (HRC). Esta sinergia es particularmente pertinente dado el actual déficit de estudios empíricos que aborden de manera esencial la incorporación de tecnologías avanzadas en el espacio de trabajo, asegurando al mismo tiempo que se mantenga un alto estándar de ergonomía y se atiendan adecuadamente los factores humanos. Este enfoque integral asegura que la implementación tecnológica no solo persigue la eficiencia productiva, sino que también procura el bienestar físico y psicológico de los empleados. Los resultados obtenidos son reveladores. La integración de la robótica no sólo redujo los tiempos de producción, reforzando uno de los pilares de la manufactura esbelta, sino que también mejoró las condiciones ergonómicas, alineándose con los principios de prevención del riesgo mecánico. Lo que, es más, el bienestar de los trabajadores se vio realzado, lo cual sugiere una acogida positiva de la tecnología por parte del personal.

Nazareno & Schiff, (2021) en su artículo, plantea una perspectiva equilibrada sobre la incorporación de la tecnología en el lugar de trabajo; argumenta que, aunque a menudo se ve la automatización y la inteligencia artificial como amenazas para el empleo, también se reconocen por su potencial para complementar la labor humana. No obstante, señala que estas tecnologías pueden tener efectos variados en el bienestar de los trabajadores, más allá de los posibles beneficios como el aumento de la productividad y los salarios. El estudio examina cómo la automatización podría influir en distintos aspectos del trabajo, incluyendo la autonomía, el sentido de realización, la carga mental, la supervisión externa y la seguridad en el empleo. A través de un análisis de 402 ocupaciones y utilizando datos de la Encuesta Social General de 2002 a 2018, revelando que los

trabajadores con alto riesgo de automatización pueden experimentar menos estrés, pero también una peor salud y una disminución o falta de mejora en la satisfacción laboral.

Así las cosas, otros artículos previamente revisados y relacionados con la inteligencia artificial también realizan mención de la robótica y la automatización, por consiguiente, en la **Tabla 14**. Se presentan las técnicas comunes aplicadas dentro de la seguridad y salud en el trabajo desde diversos contextos.

**Tabla 14.**

Aplicación de la robótica y automatización en la SST

| <b>Técnica de Aplicación</b>                     | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monitoreo Automatizado de Condiciones            | Uso de sensores y cámaras para detectar en tiempo real condiciones de trabajo inseguras o insalubres, como temperaturas extremas, presencia de gases tóxicos, o fallos en maquinaria.                                  |
| Exoesqueletos Robóticos                          | Dispositivos de asistencia que se ponen sobre el cuerpo del trabajador para reducir la carga física durante tareas repetitivas o de levantamiento de peso, disminuyendo así el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. |
| Drones para Inspección de Seguridad              | Vehículos aéreos no tripulados equipados con cámaras y otros sensores utilizados para inspeccionar zonas de difícil acceso y evaluar riesgos sin exponer a los trabajadores a dichos riesgos.                          |
| Robots Colaborativos (Cobots)                    | Robots diseñados para trabajar en conjunto con humanos en un entorno compartido, capaces de realizar tareas peligrosas o tediosas, lo que reduce la exposición del trabajador a riesgos.                               |
| Inteligencia Artificial para Análisis Predictivo | Sistemas de IA que analizan grandes cantidades de datos para predecir posibles fallos en el equipo o identificar patrones que puedan conducir a condiciones de trabajo inseguras.                                      |
| Automatización de Procesos Peligrosos            | Implementación de sistemas automáticos para realizar tareas de alto riesgo como manejo de químicos peligrosos, soldadura, o corte, evitando la exposición directa del trabajador.                                      |
| Sistemas de Realidad Virtual para Entrenamiento  | Simulaciones de realidad virtual que proporcionan un entorno seguro para la capacitación de los trabajadores en procedimientos de seguridad y manejo de emergencias sin riesgos reales.                                |
| Robótica Móvil Autónoma                          | Robots móviles autónomos que pueden navegar por el espacio de trabajo transportando materiales pesados o peligrosos, reduciendo la necesidad de que los trabajadores realicen esfuerzos físicos peligrosos.            |
| Sistemas de Alerta Temprana                      | Sistemas automáticos que alertan a los trabajadores y a la gestión sobre condiciones de trabajo inseguras o la aparición de factores de riesgo inminentes para la seguridad y la salud.                                |

| <b>Técnica de Aplicación</b>              | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interfaces Hombre-Máquina (HMI) Avanzadas | Interfaz de usuario que permite a los trabajadores interactuar de manera más intuitiva y segura con maquinaria compleja, reduciendo la posibilidad de errores operativos. |

#### 5.1.4 Drones

La incorporación de tecnologías avanzadas como los drones está transformando el panorama de la seguridad y salud en el trabajo (SST). Estos dispositivos voladores no tripulados ofrecen un nuevo abanico de posibilidades para mejorar la prevención de riesgos y la respuesta a emergencias en múltiples sectores industriales (Umar, 2021). Estos, con su capacidad para acceder a zonas de alto riesgo y realizar tareas de vigilancia y monitoreo sin comprometer la seguridad del personal, los drones se están convirtiendo en herramientas esenciales en la gestión de la SST (Moreno-Jacobo et al., 2021).

A continuación, se presenta la **Tabla 15** que detalla diversas técnicas de aplicación de drones específicamente enfocadas en mejorar distintos aspectos de la SST. Esta lista no es exhaustiva, pero proporciona una visión representativa de las capacidades y el valor que estos sistemas aéreos no tripulados pueden aportar a la protección de los trabajadores y a la optimización de los entornos laborales.

**Tabla 15.**  
Técnicas de aplicación con drones en SST

| <b>Técnica de Aplicación</b>         | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inspección Aérea de Instalaciones    | Uso de drones equipados con cámaras para realizar inspecciones visuales en altura, como en torres de telecomunicaciones o estructuras de construcción, reduciendo el riesgo de caídas.     |
| Monitoreo de Condiciones Ambientales | Drones con sensores especializados para evaluar la calidad del aire, la presencia de gases o sustancias peligrosas, o para monitorizar las condiciones medioambientales en áreas extensas. |
| Vigilancia de Seguridad Perimetral   | Implementación de drones para patrullar el perímetro de instalaciones grandes, detectando intrusos o actividades sospechosas sin exponer a personal de seguridad.                          |
| Respuesta Rápida a Emergencias       | Drones diseñados para proporcionar una primera respuesta en caso de emergencia, llevando equipos de primeros auxilios o desfibriladores                                                    |

| Técnica de Aplicación                           | Descripción                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 | a áreas de difícil acceso.                                                                                                                                                                        |
| Mapeo de Riesgos y<br>Análisis de Terreno       | Utilización de drones para crear mapas detallados de terrenos o instalaciones, identificando riesgos potenciales o planificando rutas de evacuación seguras.                                      |
| Documentación de<br>Incidentes                  | Drones que pueden ser desplegados rápidamente para capturar imágenes y videos después de un incidente, ayudando en la investigación y análisis de causas.                                         |
| Transporte de<br>Materiales Peligrosos          | Drones capaces de transportar pequeñas cantidades de materiales peligrosos, reduciendo la necesidad de manejo humano y la exposición a riesgos químicos o biológicos.                             |
| Supervisión de<br>Trabajos en Áreas<br>Remotas  | Drones utilizados para supervisar a trabajadores que realizan tareas en áreas remotas o inaccesibles, asegurando que se siguen las prácticas de seguridad adecuadas.                              |
| Entrenamiento y<br>Simulación de<br>Emergencias | Drones que participan en simulacros de emergencia, proporcionando perspectivas aéreas que pueden mejorar la planificación y preparación de los equipos de respuesta.                              |
| Comunicación y<br>Coordinación de<br>Equipos    | En caso de fallos en las comunicaciones terrestres, los drones pueden actuar como puntos de transmisión para mantener a los equipos de seguridad y trabajadores en comunicación en áreas amplias. |

Nota. Adaptado de (Jordan et al., 2018; Nooralishahi et al., 2021; Pino, 2019)

### 5.1.5 Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR)

La Realidad Virtual (VR) y la Realidad Aumentada (AR) son tecnologías emergentes que ofrecen aplicaciones revolucionarias en el campo de la seguridad y salud en el trabajo (SST) (Diao & Shih, 2019). Estas herramientas permiten simular entornos y situaciones de riesgo en un espacio controlado, lo que posibilita un entrenamiento intensivo y detallado sin exponer a los trabajadores a peligros reales. Además, la AR puede superponer información útil sobre el entorno real, apoyando a los empleados en sus tareas diarias y mejorando la percepción de los riesgos en tiempo real (Konstantinidis et al., 2020).

La **Tabla 16** destaca algunas de las aplicaciones más impactantes de la VR y la AR en SST, junto con descripciones de cómo cada una contribuye a mejorar la formación, la ejecución del trabajo y las medidas preventivas en distintos entornos laborales:

**Tabla 16.**

Técnicas VR/AR en SST

| Aplicación de VR/AR                         | Descripción                                                                                                       |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Simulaciones de VR para Capacitación en SST | Entrenamiento de trabajadores en entornos virtuales seguros para mejorar la respuesta ante situaciones de riesgo. |
| AR para Mantenimiento Predictivo            | Visualización de datos en tiempo real para anticipar y prevenir fallas en la maquinaria.                          |
| VR para Evaluación de Riesgos               | Diseño virtual de espacios de trabajo para identificar y mitigar riesgos antes de su implementación real.         |
| AR para Asistencia Remota                   | Instrucciones y guía en tiempo real para trabajadores en el sitio por expertos a distancia.                       |
| AR para Identificación de Peligros          | Alertas in situ sobre peligros potenciales para aumentar la conciencia de los trabajadores.                       |

Nota. Adaptado de (Diao &amp; Shih, 2019)

### 5.1.6 Big Data y Análisis Predictivo

Estas tecnologías permiten analizar grandes volúmenes de datos para identificar patrones, predecir riesgos y prevenir accidentes. La capacidad de anticipar y mitigar posibles problemas antes de que ocurran puede revolucionar la forma en que las organizaciones gestionan la SST (Alhaddad & Al Mubarak, 2023). De tal forma, la **Tabla 17** muestra las principales técnicas de aplicación.

**Tabla 17.**

Aplicación de big data y análisis predictivo

| Aplicación                          | Descripción                                                                                                                      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Predicción de Incidentes            | Utilización de algoritmos para analizar datos históricos y predecir la probabilidad de futuros incidentes laborales.             |
| Análisis de Sentimiento             | Evaluación y retroalimentación de empleados y redes sociales para identificar preocupaciones de seguridad o bienestar.           |
| Optimización de la Formación SST    | Personalización de programas de capacitación basados en el análisis de datos de rendimiento y participación de los empleados.    |
| Monitoreo de Condiciones de Trabajo | Recopilación y análisis de datos de sensores para mejorar las condiciones laborales y prevenir riesgos ergonómicos.              |
| Análisis de Riesgo en Tiempo Real   | Integración de datos de múltiples fuentes para ofrecer una visión en tiempo real de los posibles riesgos en el lugar de trabajo. |

Nota. Adaptado de (Chen et al., 2020; Huang et al., 2018)

### 5.1.7 Impresión 3D

La impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva, está transformando el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo (SST) al proporcionar métodos rápidos y personalizados para la creación de equipos de protección, herramientas y componentes (Irfan Ul Haq et al., 2022). Esta tecnología permite una adaptación específica a las necesidades individuales y contextos de trabajo, lo cual puede aumentar significativamente la efectividad de las medidas de seguridad (Arefin et al., 2021). En la tabla 18, se presentan las principales técnicas de aplicación.

**Tabla 18.**

Técnicas de impresión 3D en SST

| Aplicación                               | Descripción                                                                                                                                     |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Equipo de Protección Personalizado       | Fabricación de equipos de protección individual, como cascos o protectores auditivos, ajustados a la ergonomía de cada trabajador.              |
| Herramientas y Accesorios a Medida       | Creación de herramientas y accesorios diseñados para mejorar la seguridad y reducir el estrés físico en tareas específicas.                     |
| Componentes de Seguridad para Maquinaria | Producción rápida de piezas de repuesto o barreras de seguridad diseñadas para encajar perfectamente en equipos existentes.                     |
| Prototipos para Evaluación de Riesgos    | Desarrollo de modelos a escala o componentes para simular y evaluar riesgos antes de la producción en masa.                                     |
| Maquetas para Formación en SST           | Utilización de réplicas de equipos o entornos de trabajo en la formación de personal para mejorar la comprensión de las prácticas de seguridad. |

Nota. Adaptado de (Arefin et al., 2021; Irfan Ul Haq et al., 2022)

## 5.2 Análisis contextual Colombia

### 5.2.1 Generalidades de innovación en SST en Colombia

Colombia, en la última década ha sido testigo de un creciente interés en la integración de tecnologías avanzadas en el campo de la seguridad y salud en el trabajo (SST). Estas innovaciones abarcan desde la inteligencia artificial hasta la impresión 3D, cada una con el potencial de revolucionar la forma en que se abordan los riesgos laborales y se protege a los trabajadores (Fillat-Gomà et al., 2020).

La adopción de inteligencia artificial y big data ha abierto la puerta a una gestión de riesgos laborales más predictiva y personalizada. Las herramientas de análisis predictivo derivadas de grandes conjuntos de datos permiten identificar patrones que pueden prevenir accidentes antes de que sucedan, aunque el manejo ético de la información y la necesidad de una infraestructura de datos robusta plantean retos considerables (Dueñas Ramírez & Villegas López, 2020). Mientras tanto, los dispositivos IoT y wearables han comenzado a ofrecer monitoreo en tiempo real de las condiciones de los trabajadores, lo que implica también un desafío en cuanto a la privacidad y la seguridad de datos personales (Flor-Unda et al., 2023).

Por otro lado, la robótica y la automatización, junto con el uso estratégico de drones, se presentan como aliados para tomar el lugar de los humanos en tareas peligrosas o repetitivas, aunque esto conlleva preocupaciones sobre el desplazamiento laboral y la inversión inicial (Eslava et al., 2015). Además, las tecnologías de realidad virtual y aumentada han emergido como soluciones innovadoras para la capacitación en SST, ofreciendo experiencias inmersivas sin los riesgos asociados a la práctica en entornos reales (Sánchez-Zuluaga et al., 2023).

En cuanto a la impresión 3D, esta ha ganado reconocimiento por su capacidad para crear equipos de protección personalizados y piezas de maquinaria específicas para cada necesidad, aunque aún queda mucho camino por recorrer en la investigación de materiales y métodos apropiados para su aplicación efectiva en la SST (Villegas et al., 2023).

La implementación de estas tecnologías en Colombia ha enfrentado desafíos comunes como la necesidad de capital, el desarrollo de infraestructura adecuada, la capacitación de la fuerza laboral, y la actualización de normativas que regulen su uso ético y eficaz. A pesar de estas barreras, la posibilidad de mejorar la seguridad y la salud en los entornos laborales motiva la búsqueda de soluciones integrales que puedan adaptarse a las realidades económicas y sociales del

país. Con un enfoque colaborativo entre los sectores gubernamentales, académicos y privados, Colombia puede superar estos obstáculos y encaminarse hacia una industria más segura y saludable para sus trabajadores.

### 5.2.2 Costo Beneficio

A partir de la revisión documental realizada en fases anteriores, en la **Tabla 19**, se presenta un análisis de implementación de las tecnologías teniendo en cuenta las variables socioeconómicas de Colombia y su industria, donde las implicaciones de su implementación contienen un costo y un beneficio específico.

**Tabla 19.**

Análisis de implementación de la innovación en SST en Colombia

| Innovación                     | Implicaciones                                                        | Costo - Beneficio                                                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Inteligencia Artificial        | Requiere inversión en infraestructura digital y capacitación técnica | Alto costo inicial con beneficios a largo plazo en eficiencia y seguridad.             |
| IoT/Wearables en SST           | Necesita desarrollo de redes y sistemas de seguridad de datos.       | Costo medio con beneficios en monitoreo de salud y respuesta rápida.                   |
| Robótica y Automatización      | Implica rediseño de procesos y formación de empleados.               | Costo alto, pero con potencial de reducir riesgos laborales significativos.            |
| Drones                         | Requiere regulaciones claras y capacitación especializada            | Inversión significativa con beneficios en inspecciones y gestión de emergencias.       |
| VR y AR                        | Necesita desarrollo de contenido específico y hardware.              | Costo medio con mejoras en capacitación y comprensión de riesgos.                      |
| Big Data y Análisis Predictivo | Demanda infraestructura para datos y expertos en análisis.           | Inversión alta con ventajas en la prevención de accidentes y optimización de recursos. |
| Impresión 3D                   | Requiere equipos, materiales y capacitación técnica.                 | Costo medio-alto con beneficios en personalización de equipos de seguridad.            |

Asimismo, obtenido un balance general de los costos y los beneficios, se precedió a realizar una evaluación otorgando valores cuantitativos para analizar la viabilidad de implementación de

estas tecnologías en la SST de la industria colombiana, razón cual, en la **Tabla 20**, se presenta dicho análisis.

**Tabla 20.**

Evaluación costo - beneficio

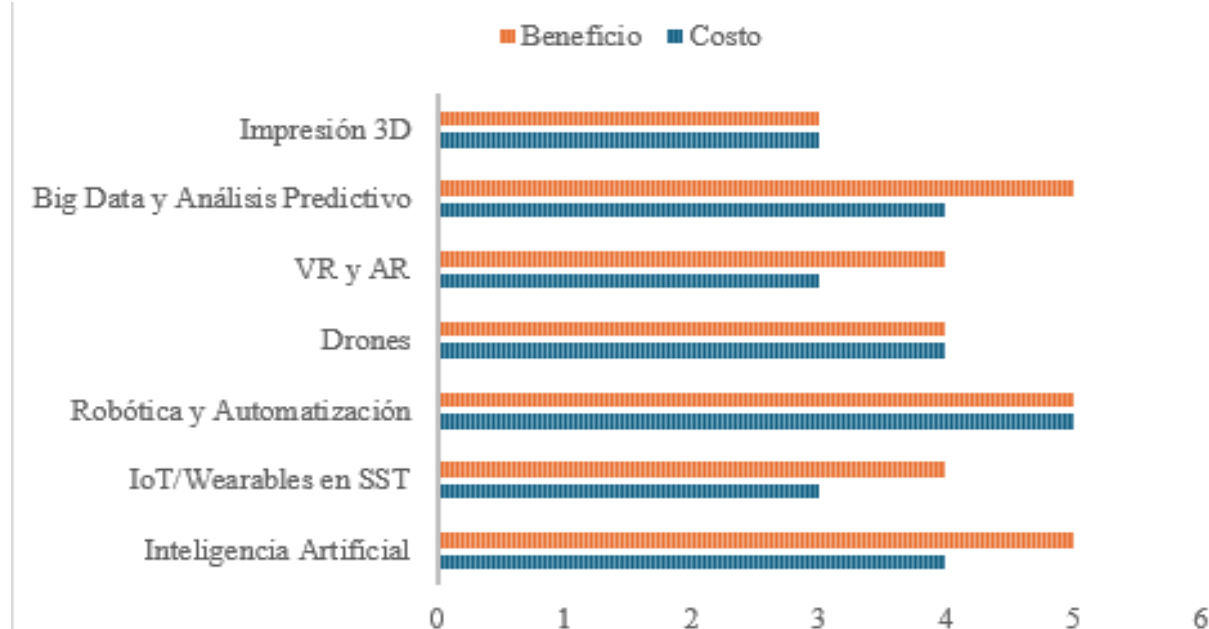
| Innovación                     | Costo | Beneficio |
|--------------------------------|-------|-----------|
| Inteligencia Artificial        | 4     | 5         |
| IoT/Wearables en SST           | 3     | 4         |
| Robótica y Automatización      | 5     | 5         |
| Drones                         | 4     | 4         |
| VR y AR                        | 3     | 4         |
| Big Data y Análisis Predictivo | 4     | 5         |
| Impresión 3D                   | 3     | 3         |

Nota. La escala numérica corresponde a (1= Bajo, 5= Alto)

De acuerdo con los resultados se destaca que la inteligencia artificial y la robótica, pese a su alto costo, ofrecen beneficios sustanciales que pueden justificar la inversión inicial, optimizando la eficiencia operativa y mejorando las condiciones de trabajo. Por otro lado, los wearables y las tecnologías de realidad virtual o aumentada presentan un balance favorable entre inversión y retorno, con aplicaciones prácticas en la mejora de la seguridad y la formación de los trabajadores. El Big Data se presenta como una inversión con un alto potencial de retorno, crucial para la prevención de incidentes. En contraste, la impresión 3D, aunque menos impactante en términos de beneficios directos, ofrece una relación costo-beneficio equilibrada y puede ser una adición valiosa para la producción de componentes a demanda. Cada tecnología, por ende, presenta un escenario diferente y debe evaluarse según las particularidades y necesidades específicas del contexto empresarial y regulatorio colombiano; en la **Figura 4**, se presenta el análisis visual del costo beneficio realizado.

**Figura 4.**

Análisis visual del costo beneficio



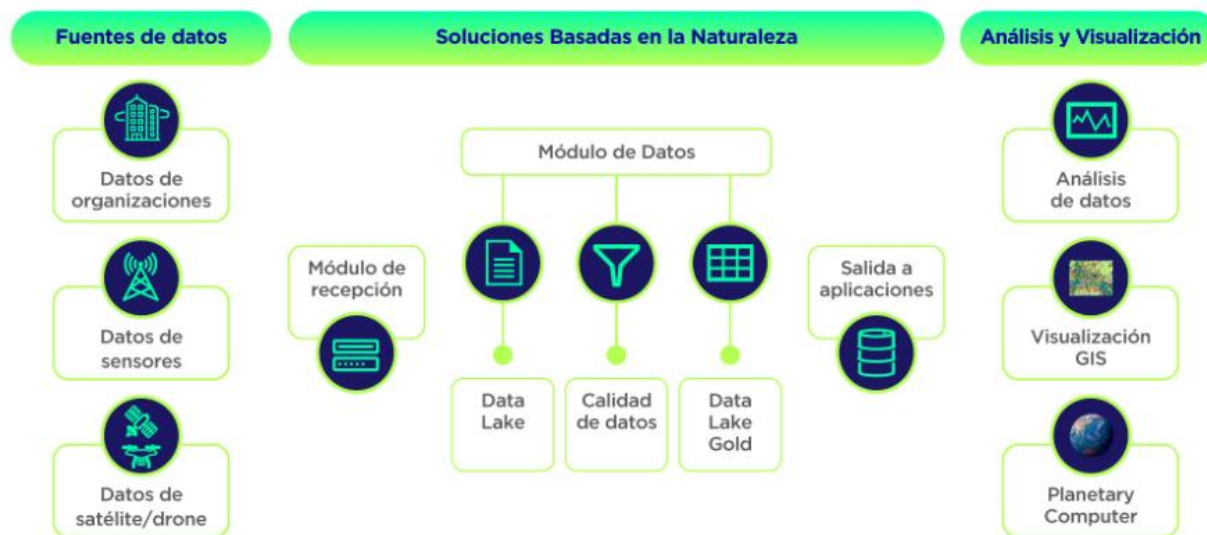
### 5.2.3 Casos de éxito en Colombia

Ecopetrol, Grupo Argos, y las clínicas de la Costa y Porto Azul S.A. son ejemplos de cómo las empresas en Colombia están integrando tecnologías avanzadas para mejorar la productividad y el clima organizacional.

Ecopetrol ha estado a la vanguardia en el sector de petróleo y gas, adoptando tecnologías como la automatización y el análisis predictivo, con big data; estas innovaciones no solo han mejorado la seguridad y la eficiencia operativa, sino que también han contribuido a un ambiente de trabajo más controlado y menos riesgoso Fuente. (Ecopetrol, 2023), lo que es fundamental en una industria con altos niveles de peligrosidad inherente; un ejemplo es el esquema organizacional tecnológico y operativo, donde se tiene un modelo de recepción de datos internos, externos y modelados, para luego establecer soluciones y luego hacer un análisis y visualización de los potenciales resultados tal como el que se presenta en la figura 5.

**Figura 5.**

Esquema organizacional tecnológico operativo del ICP



Fuente. (Ecopetrol, 2023)

Asimismo, en la tabla 21, se presentan otros aspectos tecnológicos vinculados a la empresa y su aplicación para la seguridad y salud en el trabajo de forma directa o indirecta.

**Tabla 21.**

Estrategias implementadas por Ecopetrol

| Iniciativa Tecnológica                       | Objetivo                                                                                                                                            | Aplicación en SST                                                                                 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Digitalización y Automatización de Reportes  | Implementación de sistemas para la digitalización y automatización de informes, centrados en el seguimiento, medición y gestión del proceso.        | Mejora en la precisión del monitoreo de condiciones de trabajo, reduciendo riesgos laborales.     |
| Tecnología Skanhawk en Workover              | Aplicación de la tecnología Skanhawk en operaciones de workover para monitoreo en tiempo real, mejorando el control en aspectos de seguridad y HSE. | Monitoreo en tiempo real aumenta la seguridad operacional y previene accidentes laborales.        |
| Recopilación de Datos en Campos Petrolíferos | Estrategias para recolectar datos de campos petroleros, mejorando la eficiencia operativa, especialmente en zonas de gran profundidad.              | Datos detallados permiten una mejor evaluación y gestión de riesgos en entornos peligrosos.       |
| Tableros PowerBi para Indicadores de Gestión | Creación de paneles PowerBi para visualizar indicadores clave en la gestión de la cadena de suministro, mejorando el acceso a información           | Información actualizada y accesible contribuye a una gestión más segura y eficiente de recursos y |

| <b>Iniciativa Tecnológica</b>                      | <b>Objetivo</b>                                                                                                                                                               | <b>Aplicación en SST</b>                                                                                              |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    | sobre rendimiento y áreas críticas.                                                                                                                                           | personal.                                                                                                             |
| Herramienta “EcoLocal”                             | Desarrollo de “EcoLocal” para identificar ofertas empresariales regionales y automatizar la medición de contrataciones locales, optimizando el proceso de cálculo.            | Facilita la contratación local, fomentando un ambiente laboral más inclusivo y seguro.                                |
| Automatización de Solicitudes de Compra en SAP     | Implementación de un algoritmo en SAP para la generación automática de órdenes de compra, considerando factores como precios y plazos de entrega.                             | Reduce la carga de trabajo manual, minimizando errores y estrés laboral.                                              |
| Tableros de Información de Compras                 | Desarrollo de paneles informativos para monitorear las compras, identificar materiales recurrentes y verificar el estado de pedidos.                                          | Mejora la gestión de materiales, asegurando que los equipos de seguridad estén disponibles y en buen estado.          |
| Informe de Beneficios Económicos                   | Establecimiento de un informe que muestra los beneficios económicos obtenidos por sinergias entre empresas del Grupo Ecopetrol.                                               | Promueve prácticas laborales seguras y saludables como parte de la cultura corporativa para mejorar la rentabilidad.  |
| Herramienta Digital de Control de Pago de Facturas | Creación de una herramienta digital para el registro de pagos pendientes por parte de proveedores y subcontratistas, como medida preventiva de incumplimiento de compromisos. | Asegura transparencia y eficiencia en las transacciones, reduciendo conflictos y mejorando el bienestar del personal. |

Fuente. Adaptado de (Ecopetrol, 2023)

Grupo Argos, por su parte, ha incursionado en el uso de la realidad virtual y aumentada, especialmente en sus áreas de construcción y cemento; siendo estas herramientas no solo han mejorado los procesos de diseño y construcción, sino que también han ofrecido a los empleados una forma segura y eficaz de capacitación, impactando positivamente en su desempeño laboral y en la seguridad en el trabajo; otras acciones tecnológicas contempladas son las impresoras 3D, disminuyendo los riesgos asociados a la operatividad y manejo del concreto (ver figura 6).

**Figura 6.**  
Impresoras 3D del grupo Argos



Fuente. (Argos, 2023)

En la tabla 22, se presentan otras estrategias tecnológicas utilizadas por el grupo Argos y su aplicación en la SST, teniendo en cuenta que muchas de estas se basan en la capacitación haciendo uso de la realidad virtual.

**Tabla 22.**  
Estrategias tecnológicas del grupo ARGOS

| Tecnología                       | Descripción                                                                                                                | Beneficio en la SST                                                                                                                                |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Paredes Verdes                   | Uso de vegetación en las fachadas urbanas para mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación.                     | Contribuye a un entorno urbano más saludable, reduciendo el riesgo de problemas respiratorios asociados con la mala calidad del aire.              |
| Concreto Avanzado                | Implementación de concreto avanzado en infraestructuras, como en la pasarela peatonal de la Universidad Eafit en Medellín. | Aumenta la seguridad estructural y la durabilidad, reduciendo riesgos de colapsos o daños en infraestructuras críticas.                            |
| Construcción con Impresoras 3D   | Aplicación de impresión 3D para la construcción de muros, fachadas y otros elementos arquitectónicos.                      | Mejora la eficiencia en la construcción y reduce la exposición de los trabajadores a riesgos asociados con trabajos de construcción tradicionales. |
| Realidad Virtual en Construcción | Uso de la realidad virtual para la planificación y diseño de proyectos de construcción.                                    | Permite una planificación más segura y detallada, minimizando errores en la construcción que pueden resultar en accidentes laborales.              |

Nota. Adaptado de (Grupo Argos, 2023)

En el ámbito de la salud, las clínicas de la Costa y Porto Azul S.A. en la ciudad de Barranquilla, han mostrado un interés particular en la evaluación y mejora del clima

organizacional. Realizando el análisis de datos (big data), estas instituciones han podido correlacionar directamente el ambiente de trabajo con la productividad laboral (Botero Ebrat, 2021). La adopción de estas metodologías de análisis señala un compromiso con la mejora continua y con la creación de un entorno laboral que promueva no solo la eficiencia sino también el bienestar de los empleados.

Estos casos reflejan una tendencia creciente en Colombia hacia la adopción de tecnologías 4.0 en distintos sectores, buscando no solo aumentar la productividad sino también mejorar las condiciones laborales y el clima organizacional. Así las cosas, en la tabla 23, se presenta una síntesis de estos grupos empresariales.

**Tabla 23.**  
Síntesis de casos exitosos

| <b>Empresa</b>       | <b>Logo</b>                                                                         | <b>Innovación Tecnológica Utilizada</b>                                                                                                         |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ecopetrol            |   | Automatización y análisis predictivo para mejorar la seguridad y eficiencia operativa.                                                          |
| Grupo Argos          |  | Uso de realidad virtual y aumentada en diseño y capacitación en construcción y cemento; innovación en impresoras 3D y edificaciones sostenibles |
| Clínicas de la Costa |  | Implementación de cuestionarios y análisis de datos para evaluar el clima organizacional.                                                       |
| Porto Azul S.A.      |  | Aplicación de herramientas analíticas para estudiar la relación entre clima organizacional y productividad laboral.                             |

### 5.3 Recomendaciones y buenas practicas

Para la resolución del último objetivo específico, donde de acuerdo con las fases anteriores, se resalta que, en Colombia, la integración de tecnologías enfocadas en la seguridad y salud en el trabajo promete transformar una variedad de industrias; la manufactura podría ver una revolución en su eficiencia y seguridad con la implementación de la robótica y la automatización, mientras que la impresión 3D permitiría una producción más ágil y personalizada, como el caso del grupo Argos. En todos los sectores, la realidad virtual y aumentada podrían revolucionar la capacitación en seguridad, y el uso de drones podría simplificar las inspecciones de estructuras complejas, facilitando la información y priorizando escenarios de riesgo no encontrados; por tanto, en los siguientes apartados se abarcan los sectores industriales que se pueden

El sector agrícola, por su parte, se beneficiaría del monitoreo preciso de las condiciones laborales a través del Internet de las Cosas y la gestión eficiente de los cultivos con la ayuda de drones, y el uso de microcontroladores para monitorear condiciones específicas; también la minería y la industria del petróleo podrían aumentar significativamente su seguridad operacional al adoptar inteligencia artificial para mantenimiento predictivo y automatización para las tareas de alto riesgo.

El sector salud se vería favorecido por la impresión 3D en la fabricación de equipos médicos personalizados, y el análisis predictivo mejoraría la gestión de la SST; en cuanto al transporte y logística, los drones podrían optimizar la gestión de inventarios y la realidad aumentada asistir en el mantenimiento de vehículos, incrementando la seguridad y eficiencia así como el monitoreo en tiempo real, como lo hace el grupo ARGOS en su flota de mezcladores.

Finalmente, los servicios de emergencia podrían mejorar su preparación y respuesta ante desastres con entrenamientos en entornos simulados a través de VR y AR, complementados con el uso de drones para una evaluación y actuación rápidas en situaciones críticas.

Estos avances no solo tienen el potencial de mejorar la seguridad y el bienestar de los trabajadores colombianos, sino también de aumentar la productividad y competitividad de estas industrias clave en la economía del país; así las cosas, en la tabla 24, se presentan algunas estrategias para vincular estas tecnologías en las empresas.

**Tabla 24.**  
Estrategias de implementación

| <b>Tecnología</b>              | <b>Estrategias de Implementación</b>                                                                                                                                                                     | <b>Acciones Clave</b>                                                                                                                                                    |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inteligencia Artificial        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alianzas con Universidades y Centros de Investigación</li> <li>- Subvenciones y Estímulos Fiscales</li> <li>- Desarrollo de Casos de Uso Específicos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitar talento local en IA</li> <li>- Reducir barreras financieras</li> <li>- Priorizar aplicaciones industriales</li> </ul> |
| IoT/Wearables en SST           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programas de Capacitación Tecnológica- Planes de Inversión a Corto y Mediano Plazo</li> </ul>                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formar trabajadores en el uso de IoT</li> <li>- Implementar wearables por etapas</li> </ul>                                     |
| Robótica y Automatización      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planificación Estratégica a Largo Plazo</li> <li>- Modernización Progresiva</li> </ul>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Justificar ROI (Retorno de la Inversión)</li> <li>- Comenzar con procesos críticos</li> </ul>                                   |
| Drones                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulación y Certificación</li> <li>- Pilotos de Prueba</li> </ul>                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer normativa clara</li> <li>- Probar drones en sectores clave</li> </ul>                                                |
| VR y AR                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrenamientos de SST</li> <li>- Prototipos y Simulaciones</li> </ul>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar para formación de riesgos</li> <li>- Diseñar prototipos virtuales</li> </ul>                                           |
| Big Data y Análisis Predictivo | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alianzas con Proveedores de Tecnología</li> <li>- Cultura de Datos en la Empresa</li> </ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar soluciones de análisis a medida</li> <li>- Fomentar decisiones basadas en datos</li> </ul>                          |
| Impresión 3D                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Centros de Innovación</li> <li>- Educación y Formación Técnica</li> </ul>                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Crear accesibilidad a la impresión 3D</li> <li>- Formar en diseño y manufactura aditiva</li> </ul>                              |

De tal forma, el sector de la manufactura y producción, se beneficiarían enormemente de la robótica, la automatización y la impresión 3D, puesto que estas tecnologías pueden mejorar la eficiencia, la precisión y la seguridad, al mismo tiempo que reducen la exposición de los trabajadores a condiciones peligrosas y tareas repetitivas.

En cuanto al sector de la Construcción, se podría aprovechar la realidad virtual y aumentada para capacitaciones y simulaciones, mejorando la seguridad en el sitio de construcción. Además, el uso de drones puede facilitar la inspección de estructuras de difícil acceso y monitorear el progreso de la construcción en tiempo real.

Asimismo, en la agricultura con la implementación del IoT y los wearables, los agricultores podrían monitorear la salud y la seguridad de los trabajadores en ambientes a menudo cambiantes y dispersos, también los drones también podrían usarse para inspecciones de cultivos y monitoreo de condiciones agrícolas.

En la minería y extracción de hidrocarburos, la inteligencia artificial y el análisis predictivo son particularmente beneficiosos para predecir fallas de equipo y optimizar la seguridad de las operaciones, así como lo ha venido implementado Ecopetrol. De igual forma, podría ser esencial la robótica y la automatización ya pueden realizar tareas en entornos peligrosos, minimizando los riesgos para los trabajadores.

En el sector salud podría beneficiarse de la impresión 3D para la creación de prótesis y equipos médicos personalizados, además, Big Data y el análisis predictivo pueden ser fundamentales para gestionar la salud de los trabajadores y mejorar la calidad del cuidado al paciente.

Para el sector del transporte y logística, el uso de drones para el monitoreo y la gestión de inventarios, así como la realidad aumentada para asistencia en la reparación y mantenimiento de vehículos, puede mejorar la seguridad y eficiencia del sector.

Finalmente, en el sector de servicios públicos y de emergencia, las tecnologías de VR y AR podrían ser utilizadas para el entrenamiento de situaciones de emergencia, y los drones para la rápida evaluación de áreas afectadas por desastres naturales o accidentes.

De acuerdo con el desarrollo de la monografía, este capítulo da conclusión a la pregunta de investigación la cual fue ¿Cuáles son las innovaciones tecnológicas para la mejora de la seguridad y salud en el trabajo en Colombia, y cuales podrían ser sus posibles recomendaciones para su implementación en la práctica? Donde los resultados iniciales, mostraron como existen nuevos métodos para proteger a los trabajadores y optimizar los procesos en diversos sectores. Y que dentro de esas tecnologías se encuentran la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT), robótica, drones, realidad virtual (VR) y aumentada (AR), análisis predictivo y la impresión 3D; donde cada una aporta soluciones específicas que mejoran tanto la eficacia en el trabajo como el bienestar de los empleados, contribuyendo a una mayor productividad y competitividad en el ámbito empresarial colombiano.

De tal forma, para asegurar una integración exitosa de estas tecnologías en los ambientes laborales, se recomienda seguir un enfoque estratégico centrado en la colaboración, la capacitación y el desarrollo progresivo; aplicable a cualquiera de los sectores que se nombraron previamente; así las cosas, en la tabla 25, se muestra una síntesis de recomendaciones que se pueden aplicar en las industrias de Colombia.

**Tabla 25.**  
Matriz de recomendaciones

| <b>Tecnología</b>                                  | <b>Beneficios en Prevención de Riesgos</b>                                                                           | <b>Recomendaciones de Implementación</b>                                                         |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inteligencia Artificial (IA) y Análisis Predictivo | Identificación temprana de fallas y situaciones de riesgo.                                                           | Establecer alianzas con universidades y centros de investigación. Capacitar talento local en IA. |
| Internet de las Cosas (IoT) y Wearables            | Monitoreo en tiempo real de las condiciones de trabajo y salud de los trabajadores.                                  | Implementar programas de capacitación tecnológica. Implementar wearables por etapas.             |
| Robótica y Automatización                          | Reducción de la exposición de los trabajadores a tareas peligrosas o repetitivas.                                    | Planificación estratégica a largo plazo. Justificar ROI. Comenzar con procesos críticos.         |
| Drones                                             | Inspección de áreas de difícil acceso o peligrosas sin exposición directa de los trabajadores.                       | Establecer normativa clara. Probar drones en sectores clave.                                     |
| Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR)    | Capacitación en seguridad a través de entornos simulados, mejorando la preparación ante emergencias sin riesgo real. | Utilizar para formación de riesgos. Diseñar prototipos virtuales.                                |
| Impresión 3D                                       | Producción de equipos de seguridad personalizados para una protección más efectiva.                                  | Crear accesibilidad a la impresión 3D. Formar en diseño y manufactura aditiva.                   |

Para que las empresas colombianas puedan incorporar con éxito las innovaciones tecnológicas en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo (SST), es preciso adoptar un enfoque integral del contexto y estratégico que vaya más allá de la mera adquisición de nuevas herramientas; sino que debe ir de la mano con la capacitación del personal, la adaptación cultural, la planificación estratégica y la colaboración intersectorial. A continuación, se detallan algunas recomendaciones ampliadas para facilitar la implementación práctica de estas tecnologías en las empresas:

- Las empresas deben buscar activamente colaboraciones con instituciones académicas, centros de investigación y otros socios tecnológicos; puesto que estas alianzas pueden acelerar el desarrollo e implementación de soluciones innovadoras

adaptadas a las necesidades específicas de seguridad y salud en el trabajo, la colaboración puede también facilitar el acceso a fondos de investigación y desarrollo (I+D), así como a conocimientos especializados que pueden no estar disponibles internamente.

- Una inversión significativa en programas de capacitación y desarrollo profesional es esencial para garantizar que los trabajadores y los gestores comprendan cómo utilizar eficazmente las nuevas tecnologías, por tanto, la formación debe abordar no solo el uso técnico de las herramientas, sino también la comprensión de cómo estas tecnologías pueden mejorar la SST.
- Introducir nuevas tecnologías mediante proyectos piloto permite a las empresas evaluar su impacto antes de un despliegue a gran escala: esto facilita la identificación y resolución de problemas en etapas tempranas, minimizando los riesgos asociados con la implementación; además, la evaluación continua de la tecnología en uso permite ajustes y mejoras basadas en la retroalimentación real del entorno laboral.
- Para una integración exitosa, es preciso que las empresas promuevan una cultura organizacional que valore la innovación y esté abierta al cambio; lo cual implica no solo apoyar la adopción de nuevas tecnologías, sino también fomentar una actitud proactiva hacia la seguridad y salud en el trabajo.
- Es pertinente que las empresas se mantengan al tanto de la legislación y los estándares nacionales e internacionales relacionados con las tecnologías que desean implementar; ya que esto asegura que las implementaciones tecnológicas se

realicen de manera segura y efectiva, protegiendo así tanto a los trabajadores como a la empresa.

- Las empresas deben explorar oportunidades de financiamiento y subvenciones disponibles para la adopción de tecnologías de SST, de tal forma, el apoyo financiero, ya sea a través de incentivos gubernamentales, créditos fiscales o programas.

Así las cosas, en el Apéndice A, se deja un entregable visiblemente lúdico, para las empresas que deseen consultar sobre este proceso de forma rápida, conociendo las implicaciones teóricas y operacionales de la implementación de estas tecnologías en sus sistemas de seguridad y salud en el trabajo.

## 6. Conclusiones

La revisión documental permitió observar que las innovaciones tecnológicas, tales como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT), drones y realidad virtual, están generando un impacto significativo en la mejora de la seguridad y salud en el trabajo. Este hallazgo se basa en la exhaustiva búsqueda y revisión en bases de datos académicas como, Elsevier, Scopus, EBSCO, ScienceDirect, Google Scholar y, en el ámbito latinoamericano, Scielo.

La exploración de las innovaciones en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en Colombia, a través del marco teórico y conceptual, establece una conexión directa entre la adopción de tecnologías avanzadas y mejoras significativas en diversos aspectos organizacionales. La integración de inteligencia artificial, robótica, wearables, realidad virtual, Big Data e impresión 3D refleja la convergencia de la tecnología 4.0 en el ámbito laboral colombiano, respaldando su relevancia para optimizar la eficiencia operativa y las condiciones laborales. Además, se resalta que tecnologías como inteligencia artificial y robótica, a pesar de la inversión inicial, ofrecen beneficios sustanciales, mientras que wearables y realidad virtual presentan un equilibrio favorable entre inversión y retorno.

En el contexto colombiano, la aplicación de innovaciones tecnológicas en SST ha demostrado ventajas evidentes en términos de eficiencia operativa y seguridad laboral. No obstante, se identificaron desafíos significativos relacionados con la inversión inicial necesaria, la capacitación especializada del personal y la adaptación de estas tecnologías a diversos sectores industriales. Empresas destacadas como Grupo Argos y Ecopetrol han liderado exitosamente estas implementaciones, exhibiendo tanto los beneficios obtenidos como los desafíos prácticos inherentes a estas innovaciones.

El análisis de casos exitosos respalda la implementación estratégica de tecnologías específicas en diferentes industrias, demostrando mejoras notables en seguridad, eficiencia y clima organizacional. En el ámbito de la salud organizacional, la aplicación de herramientas analíticas como el Big Data, demuestra que estas tecnologías pueden tener un impacto positivo en la productividad laboral. Se concluye que el enfoque gradual, mencionado en el marco teórico, es una estrategia efectiva para la implementación de tecnologías en empresas colombianas, facilitando una transición suave y la adaptación de los empleados a nuevas herramientas.

La investigación revela una importante variedad de innovaciones tecnológicas aplicadas en empresas colombianas, abarcando desde inteligencia artificial hasta realidad virtual, destacando así la versatilidad de las soluciones disponibles en el ámbito de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). Las empresas examinadas, demostraron beneficios significativos en términos de seguridad y eficiencia operativa a través de la adopción de las tecnologías avanzadas. Este hecho resalta la importancia de las innovaciones para mejorar las condiciones laborales y prevenir riesgos en entornos laborales diversos. Es evidente un enfoque estratégico en sectores cruciales como el petrolero, la construcción y la salud. Aquí, la implementación de tecnologías 4.0 se alinea de manera precisa con las necesidades específicas de cada industria, subrayando la adaptabilidad y pertinencia de estas soluciones.

La investigación culminó en la formulación de recomendaciones y buenas prácticas destinadas a la implementación efectiva de tecnologías de SST en Colombia. Estas incluyen la imperante necesidad de realizar evaluaciones detalladas de riesgos y necesidades, la planificación estratégica de la implementación, así como la capacitación del personal y la gestión del cambio. El proceso concluye con la evaluación para asegurar la efectividad de las tecnologías

implementadas. Dichas recomendaciones están diseñadas con el propósito de orientar a las empresas colombianas en la exitosa integración de tecnologías avanzadas en sus prácticas de SST.

### **6.1 Continuidad del proyecto**

La continua investigación de innovaciones en Seguridad y Salud en el Trabajo es una necesidad imperativa en el contexto colombiano. La dinámica evolución tecnológica y las cambiantes demandas laborales exigen un constante monitoreo y análisis de las últimas tendencias asociadas a la SST. La rápida adopción de tecnologías como la inteligencia artificial, realidad virtual y dispositivos IoT en entornos laborales resalta la importancia de mantenerse al día con los avances. Además, la persistencia de desafíos, como la adaptación a diferentes sectores industriales y la capacitación especializada, subraya la relevancia de una investigación continua para abordar obstáculos emergentes. La continuidad en la exploración de innovaciones en SST no solo contribuirá al avance tecnológico en el ámbito laboral colombiano, sino que también posicionará al país en la vanguardia de las prácticas de SST.

La relevancia de continuar con un proceso investigativo con el enfoque de abordar las necesidades de explorar la innovación en SST permitirá la implementación efectiva de innovaciones tecnológicas que mejoren la eficiencia operativa y la seguridad en el lugar de trabajo, fortaleciendo la capacidad del país para enfrentar los retos contemporáneos en materia de seguridad y salud laboral. A medida que las empresas líderes, como Grupo Argos y Ecopetrol, establecen casos de éxito, la investigación continua se convierte en un pilar esencial para aprovechar plenamente los beneficios de estas tecnologías. Los resultados de estas investigaciones no solo informarán las prácticas empresariales, sino que también respaldarán el desarrollo de políticas gubernamentales que fomenten un entorno laboral seguro y saludable en Colombia. La

continuidad en la exploración de innovaciones en SST es, por lo tanto, crucial para el progreso sostenible y el bienestar general de la fuerza laboral colombiana.

### Referencias Bibliográficas

- Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., & Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC). *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 25(1), 15–26.
- Alhaddad, H., & Al Mubarak, M. (2023). *Big Data in Occupational Health and Safety* (pp. 541–562). [https://doi.org/10.1007/978-981-99-6101-6\\_39](https://doi.org/10.1007/978-981-99-6101-6_39)
- Álvarez Contreras, D. E., Araque Geney, E. A., & Jiménez Lyons, K. A. (2022). Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, Mipymes de Sincelejo, Colombia. *Tendencias*, 23(2), 178–201.
- Arefin, A. M. E., Khatri, N. R., Kulkarni, N., & Egan, P. F. (2021). Polymer 3D Printing Review: Materials, Process, and Design Strategies for Medical Applications. *Polymers*, 13(9), 1499. <https://doi.org/10.3390/polym13091499>
- Argos, G. (2023). Construcción con impresoras 3D. *Argos Sostenibilidad*.
- Ávila-Álvarez, J. C., Noda-Hernández, M. E., Carmona-Rodríguez, A., & Hijuelos-Pupo, N. J. (2020). Procedimiento para detectar riesgos laborales en la Empresa Cubana del Pan. *Ciencias Holguín*, 26(2), 17–30.
- Bernal, G., Colombo, S., Al Ai Baky, M., & Casalegno, F. (2017). Safety++: Designing IoT and Wearable Systems for Industrial Safety through a User Centered Design Approach. *Proceedings of the 10th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments*, 163–170. <https://doi.org/10.1145/3056540.3056557>
- Bernal, T. C. A. (2016). *Metodología de la Investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (4th ed.). Pearson Educación de Colombia S.A.S.
- Botero Ebrat, S. A. (2021). Desarrollo de un sistema de gestión energética en la clínica Portoazul. *LADEE*, 2(1), 1–11.

- Braband, J., & Schäbe, H. (2020). On safety assessment of artificial intelligence. *Dependability*, 20(4), 25–34. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-4-25-34>
- Chen, F., Wang, H., Xu, G., Ji, H., Ding, S., & Wei, Y. (2020). Data-driven safety enhancing strategies for risk networks in construction engineering. *Reliability Engineering & System Safety*, 197, 106806. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106806>
- Claramunt, J. C. (2020). La gestión de la información en el paradigma algorítmico: inteligencia artificial y protección de datos. *MÉI: Métodos de Información*, 11(21), 42–58.
- Cockburn, W., & Hurtado, M. (2021). Perspectiva europea sobre los riesgos laborales en el ámbito del teletrabajo. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 24(2), 95–98.
- Colim, A., Morgado, R., Carneiro, P., Costa, N., Faria, C., Sousa, N., Rocha, L. A., & Arezes, P. (2021). Lean Manufacturing and Ergonomics Integration: Defining Productivity and Wellbeing Indicators in a Human–Robot Workstation. *Sustainability*, 13(4), 1931. <https://doi.org/10.3390/su13041931>
- Del Castillo, M. del C. A. (2020). El uso de la inteligencia artificial en la prevención de riesgos laborales. *Relaciones Laborales y Derecho Del Empleo*.
- Diao, P.-H., & Shih, N.-J. (2019). BIM-Based AR Maintenance System (BARMS) as an Intelligent Instruction Platform for Complex Plumbing Facilities. *Applied Sciences*, 9(8), 1592. <https://doi.org/10.3390/app9081592>
- Dueñas Ramírez, L. M., & Villegas López, G. A. (2020). Computer science development and technologies associated with industry 4.0 applied to industrial maintenance in Colombia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1513(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1513/1/012002>
- Ecopetrol. (2023). Tecnología e innovación Ecopetrol. *Sostecnibilidad*.

<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/GruposInteres/GestionDeAbastecimiento/sostecnibilidad-abastecimiento/tecnologia-innovacion>

Eslava, H., Rojas, L. A., & Pereira, R. (2015). Implementation of Machine-to-Machine Solutions Using MQTT Protocol in Internet of Things (IoT) Environment to Improve Automation Process for Electrical Distribution Substations in Colombia. *Journal of Power and Energy Engineering*, 03(04), 92–96. <https://doi.org/10.4236/jpee.2015.34014>

Espino-Rodríguez, T. F., & Gebril Taha, M. (2023). El outsourcing hotelero y sus beneficios y riesgos estratégicos. El Caso de Egipto. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 21(3), 503–513. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2023.21.034>

Fillat-Gomà, F., Coderch-Navarro, S., Martínez-Carreres, L., Monill-Raya, N., Nadal-Mir, T., Lalmolda, C., Luján, M., de Haro, C., & Blanch, L. (2020). Integrated 3D printing solution to mitigate shortages of airway consumables and personal protective equipment during the COVID-19 pandemic. *BMC Health Services Research*, 20(1), 1035. <https://doi.org/10.1186/s12913-020-05891-2>

Flor-Unda, O., Fuentes, M., Dávila, D., Rivera, M., Llano, G., Izurieta, C., & Acosta-Vargas, P. (2023). Innovative Technologies for Occupational Health and Safety: A Scoping Review. *Safety*, 9(2), 35. <https://doi.org/10.3390/safety9020035>

Grupo Argos. (2023). Innovación tecnológica. *Tecnologías y Seguridad*. <https://colombia.argos.co/categoria/tecnologia/>

Hegde, J., & Rokseth, B. (2020). Applications of machine learning methods for engineering risk assessment – A review. *Safety Science*, 122, 104492. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.015>

Hermida, A. J. T. (2020). La responsabilidad civil derivada del uso de la inteligencia artificial y

su aseguramiento. *Revista de La Asociación Española de Abogados Especializados En Responsabilidad Civil y Seguro*, 76, 79–104.

Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. Méndez & C. Mendoza (eds.); 6th ed.). McGRAW-HILL/Interamericana Editores S.A. de C.V.

Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. *American Journal of Industrial Medicine*, 62(11), 917–926. <https://doi.org/10.1002/ajim.23037>

Huang, L., Wu, C., Wang, B., & Ouyang, Q. (2018). Big-data-driven safety decision-making: A conceptual framework and its influencing factors. *Safety Science*, 109, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.05.012>

Irfan Ul Haq, M., Khuroo, S., Raina, A., Khajuria, S., Javaid, M., Farhan Ul Haq, M., & Haleem, A. (2022). 3D printing for development of medical equipment amidst coronavirus (COVID-19) pandemic—review and advancements. *Research on Biomedical Engineering*, 38(1), 305–315. <https://doi.org/10.1007/s42600-020-00098-0>

Jaramillo, A. V., Aguirre, V. C., Torres, Á. M. P., Betancur, T. A. A., Castillo, P. A. G., & Ramírez, M. G. (2019). Accidente de trabajo y enfermedad profesional en Colombia. Las condiciones de seguridad y salud en el trabajo del sector metalúrgico en Colombia. *Poliantea*, 14(25), 7.

Jarota, M. (2023). Artificial intelligence in the work process. A reflection on the proposed European Union regulations on artificial intelligence from an occupational health and safety perspective. *Computer Law & Security Review*, 49, 105825. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2023.105825>

Jeske, T., Terstegen, S., & Stahn, C. (2021). *Opportunities of Digitalization and Artificial*

- Intelligence for Occupational Safety and Health in Production Industry* (pp. 43–57).  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-77817-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77817-0_4)
- Jordan, S., Moore, J., Hovet, S., Box, J., Perry, J., Kirsche, K., Lewis, D., & Tse, Z. T. H. (2018). State-of-the-art technologies for UAV inspections. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 12(2), 151–164. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2017.0251>
- Konstantinidis, F. K., Kansizoglou, I., Santavas, N., Mouroutsos, S. G., & Gasteratos, A. (2020). MARMA: A Mobile Augmented Reality Maintenance Assistant for Fast-Track Repair Procedures in the Context of Industry 4.0. *Machines*, 8(4), 88. <https://doi.org/10.3390/machines8040088>
- Llumiquinga Loya, H. P. (2020). *Propuesta de medidas de control de riesgos laborales debido a las condiciones ambientales de trabajo y la carga postural en el personal del Observatorio Astronómico de la Escuela Politécnica Nacional*. Quito, 2020.
- Macías, M. del C. (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.
- Maya, A. M., Vallejo, A., Ramos, V., & Borsic, Z. (2019). Cultura organizacional e innovación en las empresas. *CienciAmérica*, 8(2), 84–102.
- Molina-Zapata, J. E. (2021). La revolución verde como revolución tecnocientífica: artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista Colombiana de Filosofía de La Ciencia*, 21(42).
- Moreno-Jacobo, D., Toledo-Nin, G., Ochoa-Zezzatti, A., Torres, V., & Estrada-Otero, F. (2021). *Evaluation of Drones for Inspection and Control in Industry 4.0* (pp. 579–595). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68655-0\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68655-0_29)
- Nazareno, L., & Schiff, D. S. (2021). The impact of automation and artificial intelligence on

- worker well-being. *Technology in Society*, 67, 101679. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101679>
- Nooralishahi, P., Ibarra-Castanedo, C., Deane, S., López, F., Pant, S., Genest, M., Avdelidis, N. P., & Maldague, X. P. V. (2021). Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies. *Drones*, 5(4), 106. <https://doi.org/10.3390/drones5040106>
- Noussan Lettry, R. (2020). Adaptabilidad y gestión el cambio organizacional ante las oportunidades y amenazas en el contexto de la educación virtual impuesta por la pandemia. *IX CV Congreso de Cs Económicas. Congreso de Administración Del Centro de La Rep. VI Encuentro Internacional de Administración Del Centro de La Rep. "Las Ciencias Económicas En Tiempos de Crisis*.
- OIT, OMS, & EU-OSHA. (2018). *Riesgo auditivo en el trabajo - SIMEON : Seguridad y Salud en el Trabajo integrada con Tecnología | SIMEON : Seguridad y Salud Laboral integrada con Tecnología. Seguridad y Salud Laboral Integral Con Tecnología*. <https://simeon.com.co/item/5-riesgo-auditivo-en-el-trabajo.html>
- Osorio-Vasco, J. (2021). Panorama de la seguridad y salud en el trabajo de microempresas colombianas ubicadas en un barrio del Municipio de Itagüí, Antioquia, Colombia. *Cadernos de Saúde Pública*, 37, e00175320.
- Pachas Gutierrez, W. (2021). *Cultura organizacional en docentes de dos instituciones educativas públicas de la UGEL 01, Lima 2021*.
- Paltrinieri, N., Comfort, L., & Reniers, G. (2019). Learning about risk: Machine learning for risk assessment. *Safety Science*, 118, 475–486. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.001>
- Pasquale, V. Di, De Simone, V., Radano, M., & Miranda, S. (2022). Wearable devices for health and safety in production systems: a literature review. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 341–346.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.410>

Pearce, M., Mutlu, B., Shah, J., & Radwin, R. (2018). Optimizing Makespan and Ergonomics in Integrating Collaborative Robots Into Manufacturing Processes. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(4), 1772–1784. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2789820>

Pedraja-Rejas, L. M., Marchioni-Choque, Í. A., Espinoza-Marchant, C. J., & Muñoz-Fritis, C. P. (2020). Liderazgo y cultura organizacional como factores de influencia en la calidad universitaria: un análisis conceptual. *Formación Universitaria*, 13(5), 3–14.

Petz, P., Eibensteiner, F., & Langer, J. (2021). Sensor Shirt as Universal Platform for Real-Time Monitoring of Posture and Movements for Occupational Health and Ergonomics. *Procedia Computer Science*, 180, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.157>

Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75–84.

Pishgar, M., Issa, S. F., Sietsema, M., Pratap, P., & Darabi, H. (2021). REDECA: A Novel Framework to Review Artificial Intelligence and Its Applications in Occupational Safety and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13), 6705. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136705>

Reyes Hernández, J., & Moros Fernández, H. (2020). Diagnóstico sociopsicológico de la cultura organizacional en una empresa de servicios. *Revista Estudios Del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 8(1).

Sánchez-Zuluaga, G. J., Isaza-Giraldo, L., Zapata-Madrigal, G. D., García-Sierra, R., & Candelo-Becerra, J. E. (2023). Unmanned Aircraft Systems: A Latin American Review and Analysis from the Colombian Context. *Applied Sciences*, 13(3), 1801.

<https://doi.org/10.3390/app13031801>

Schall, M. C., Sesek, R. F., & Cavuoto, L. A. (2018). Barriers to the Adoption of Wearable Sensors in the Workplace: A Survey of Occupational Safety and Health Professionals. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 60(3), 351–362. <https://doi.org/10.1177/0018720817753907>

Solarte Solarte, C. M., Solarte Solarte, M. L., & Barahona Vinasco, J. F. (2020). Cultura organizacional e innovación en la orientación al mercado de empresas familiares de Pasto (Colombia). *Contaduría y Administración*, 65(1).

Svertoka, E., Saafi, S., Rusu-Casandra, A., Burget, R., Marghescu, I., Hosek, J., & Ometov, A. (2021). Wearables for Industrial Work Safety: A Survey. *Sensors*, 21(11), 3844. <https://doi.org/10.3390/s21113844>

Umar, T. (2021). Applications of drones for safety inspection in the Gulf Cooperation Council construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(9), 2337–2360. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0369>

Vallejo-Noguera, F. F., Rubio-Endara, O. W., & others. (2022). Implementar el Uso de la Inteligencia Artificial para Detectar el Comportamiento del Trabajador en la Prevención de Accidentes Laborales en la Empresa. *Domino de Las Ciencias*, 8(1), 1035–1045.

Vasquez, G. O. A., Parrales Piloza, D. H., & Morales Chávez, V. E. (2021). Administrative Process: Determining Factor in the Organizational Development of Msmes. *Revista Publicando*, 8(31), 258–278.

Villegas, M. C., Chamorro, M. V., Fandiño-Reyes, A., & Jiménez-Fandiño, L. H. (2023). 3D Printed Larynx as a Novel Simulation Tool for Window Elaboration in Medialization Laryngoplasty. *Journal of Voice*, 37(5), 798.e1-798.e5.

<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.05.007>

Wu, F., Wu, T., & Yuce, M. (2018). An Internet-of-Things (IoT) Network System for Connected Safety and Health Monitoring Applications. *Sensors*, 19(1), 21.  
<https://doi.org/10.3390/s19010021>

## **Apéndices**

### **Apéndice A. Protocolo de implementación**

El anexo presentado en este documento se refiere al Protocolo de Implementación de Tecnologías Innovadoras en la Industria Colombiana, siendo un compendio detallado diseñado para guiar a las empresas colombianas en la adopción y adaptación efectiva de tecnologías avanzadas en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo (SST); por tanto, este protocolo se elaboró con el propósito de ofrecer un marco estructurado que ayude a las organizaciones a navegar por el proceso de integración tecnológica, desde la fase inicial de diagnóstico hasta la evaluación y seguimiento post-implementación; *el documento se adjunta como PDF.*