

**ESTUDIO DE VIGILANCIA E INTELIGENCIA DE LAS TENDENCIAS DE USO DE
LA TECNOLOGÍA INMERSIVA EN EL CAMPO DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN
EL TRABAJO: POSIBILIDADES DE APLICACIÓN EN EL CONTEXTO
COLOMBIANO**

Astrid Eugenia Enciso Reyes

Código 2300454

Tesis de Maestría en Prospectiva e Innovación

Directores: PhD Ana Milena Padilla. Mgtr. Alexis Aguilera



Universidad del Valle
Facultad de Ciencias de la Administración,
Maestría en Prospectiva e Innovación
Santiago de Cali, 2025

Tabla de Contenido

Resumen.....	5
Abstract	7
Introducción	9
Objetivo General.....	11
Objetivos Específicos:.....	11
Problema	12
Marco Referencial.....	14
Antecedentes	14
SST e Industria: Panorama global, latinoamericano y colombiano.....	15
SST e Innovación Tecnológica.....	17
SST y Tecnologías inmersivas	19
Integración de Tecnologías Inmersivas con Otras Tecnologías Emergentes	22
Aplicación práctica de las tecnologías inmersivas y sus integraciones con otras tecnologías emergentes	23
Marco Conceptual	27
Marco Teórico	29
Vigilancia e Inteligencia.....	29
Seguridad y salud en el trabajo	32
Eras de la SST.....	36
Tecnología inmersiva	38
Clasificación de las tecnologías inmersivas	39
Aplicaciones de las tecnologías inmersivas.....	41
Metodología	45
Identificación de Necesidades	46
Búsqueda de la Información.....	46
Cuestiones Críticas de Vigilancia (CCV).....	50
Palabras clave y Validación por Expertos	51
Formulación de la Ecuación de Búsqueda.....	54
Análisis de la Información.	56
Fuente de Búsqueda: Scopus	56
Fuente de Búsqueda: CARROT2	71

Fuente de Búsqueda: Google Patents	76
Valorización de la información	81
Comunicación de los resultados.....	100
Mapa de oportunidades.....	100
Conclusiones	111
Recomendaciones	115
Bibliografía	119
ANEXO 1. Reunión con expertos.....	125

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Proceso de realización de la vigilancia e inteligencia</i>	32
Figura 2 <i>Tasa de crecimiento estimada del mercado de realidad virtual</i>	42
Figura 3 <i>Ciclo de la vigilancia y la inteligencia</i>	45
Figura 4 <i>Relación del Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo y las Tecnologías Inmersivas</i>	49
Figura 5 <i>Análisis de las publicaciones por año</i>	57
Figura 6 <i>Análisis de las publicaciones por país de origen</i>	59
Figura 7 <i>Análisis de las publicaciones por fuente que publica</i>	61
Figura 8 <i>Análisis de las publicaciones por tipo</i>	62
Figura 9 <i>Visualización de la red de palabras claves</i>	66
Figura 10 <i>Visualización de la red de palabras claves por años de publicación</i>	67
Figura 11 <i>Visualización de la red de palabras claves por densidad</i>	68
Figura 12 <i>Visualización por países de autoría en la investigación</i>	70
Figura 13 <i>Mapa de árboles búsqueda de la búsqueda Web</i>	73
Figura 14 <i>Análisis de patentes por cesionario</i>	78
Figura 15 <i>Análisis de patentes por inventor</i>	78
Figura 16 <i>Análisis de patentes por CPC</i>	80
Figura 17 <i>Aplicaciones de las tecnologías inmersivas en el contexto de la SST</i>	84
Figura 18 <i>Mapa de oportunidades tecnologías inmersivas en el contexto de la SST en Colombia</i>	10606

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Características de los diferentes tipos de tecnologías inmersivas</i>	40
Tabla 2 <i>Ficha de vigilancia e inteligencia</i>	47
Tabla 3 <i>Palabras claves de investigación</i>	51

Tabla 4	<i>Revisión por expertos.....</i>	53
Tabla 5	<i>Bitácora de búsqueda.</i>	55
Tabla 6	<i>Listado de términos excluidos de la selección de palabras claves.</i>	64
Tabla 7	<i>Listado de clústers temáticos.....</i>	65
Tabla 8	<i>Resumen comparativo algoritmos de agrupación utilizados en Carrot2.....</i>	72
Tabla 9	<i>Resumen comparativo algoritmos de agrupación utilizados en Carrot2.....</i>	74
Tabla 10	<i>Entrenamiento en tareas de alto riesgo con uso de Realidad Virtual (RV), RA (RA) o Mixta (RM).....</i>	85
Tabla 11	<i>Integración de IoT (Internet de las Cosas) para Monitoreo en Tiempo Real</i>	86
Tabla 12	<i>Integración de IoT (Internet de las Cosas) para Monitoreo en Tiempo Real</i>	87
Tabla 13	<i>Inteligencia Artificial (IA) para Análisis Predictivo</i>	88
Tabla 14	<i>Gestión Psicosocial y Salud Mental</i>	89
Tabla 15	<i>Evaluación de Riesgos.....</i>	90
Tabla 16	<i>Medición de Percepción de Riesgos Individual.....</i>	91
Tabla 17	<i>Entrenamiento para Facilitar el Reintegro Laboral Exitoso</i>	92
Tabla 18	<i>Elementos de Protección Personal (EPP) faciales integrando RA.....</i>	93
Tabla 19	<i>Entrenamiento con Avatar Virtual.....</i>	94
Tabla 20	<i>Desarrollo de Prototipos interactivos con tecnología inmersiva</i>	95
Tabla 21	<i>Valoración de las oportunidades del uso de tecnologías inmersivas en el contexto de SST en Colombia.....</i>	102
Tabla 22	<i>Respuesta de expertos en tecnologías inmersivas a las preguntas orientadoras</i>	126

Resumen

La interrelación entre el trabajo y la evolución de la humanidad ha estado históricamente vinculada al avance industrial, aunque este progreso ha tenido repercusiones en la salud de los trabajadores. En este marco, se establece la gestión de riesgos laborales, a través de la seguridad y la salud en el trabajo, concebida a partir del artículo 2.2.4.6.4. del Decreto 1072 del 2015, (Decreto Único Reglamentario Del Sector Trabajo, 2015) como un sistema de gestión y mejora continua, bajo el cual se genera un cambio en su orientación pasando de una serie de actividades prescriptivas y protectoras hacia un enfoque más sistemático, que busca adaptarse a los cambios organizacionales y mantener un enfoque preventivo, que tiene como objetivo el bienestar y la seguridad de los trabajadores, previniendo la generación de accidentes y enfermedades laborales.

El enfoque inicial de la seguridad y salud laboral se centraba en el control de las condiciones ambientales peligrosas, no obstante, los accidentes y enfermedades laborales continúan ocurriendo, como lo evidencian las estadísticas de accidentalidad, que muestran un incremento del 9.3% en accidentes de trabajo (AT) en 2023 en comparación con 2022, un 12.6% respecto a 2021 y un 30% en relación con 2020, lo que equivale a un promedio de 1.524 accidentes diarios (Fasecolda-Federación de Aseguradores Colombianos, 2023)

Esta situación realza la necesidad de explorar nuevas estrategias de control de riesgos para lo cual se plantea desarrollar una investigación bajo la metodología de vigilancia e inteligencia frente al uso de las tecnologías inmersivas en el campo de la seguridad y la salud en el trabajo (SST).

Con este fin se llevó a cabo una identificación de palabras clave, revisadas por un grupo de expertos, para diseñar una ecuación de búsqueda aplicada en fuentes como Scopus, Carrot2, Google Patents y reportes de análisis de tendencias.

Los resultados fueron analizados mediante bibliometría, cienciometría y revisión de patentes, culminando en una valoración de la información a través de un mapa de oportunidades, que consiste en el diseño de una herramienta visual que permite identificar y priorizar áreas donde se pueden implementar mejoras, innovaciones o nuevas iniciativas frente al uso de las tecnologías inmersivas en el campo de la SST, como la inspección de lugares de trabajo, la formación, el diseño de puestos y el monitoreo remoto, entre otras.

Estas iniciativas fueron valoradas bajo los criterios de tiempo e impacto y se considera que podrían influir de manera significativa en la creación de entornos laborales seguros, promoviendo el desarrollo productivo y mejorando el bienestar de los trabajadores.

La investigación permitió concluir que la aplicación más común de las tecnologías inmersivas a nivel mundial se centra en la formación, particularmente en sectores con altos índices de accidentes, como la construcción. Hasta el momento, los estudios realizados no se han centrado en formaciones aisladas, aunque se han registrado resultados positivos a corto plazo en las conductas de los trabajadores en relación con la prevención de accidentes mediante la intervención en su comportamiento. Sin embargo, es esencial realizar estudios adicionales que analicen el impacto a largo plazo para determinar su efecto específico en la prevención y reducción de accidentes laborales.

Palabras clave: Seguridad y salud en el trabajo, riesgos laborales, tecnología inmersiva, realidad virtual, realidad aumentada, vigilancia e inteligencia.

Abstract

The interrelationship between work and the evolution of humanity has historically been linked to industrial progress, although this progress has had repercussions on the health of workers. Within this framework, occupational risk management is established, through occupational health and safety, conceived from article 2.2.4.6.4. of Decree 1072 of 2015, (Single Regulatory Decree of the Labor Sector, 2015) as a system of management and continuous improvement, under which a change in its orientation is generated moving from a series of prescriptive and protective activities to a more systematic approach, which seeks to adapt to organizational changes and maintain a preventive approach, which aims at the well-being and safety of workers, preventing the generation of accidents and occupational diseases.

The initial focus of occupational safety and health was focused on the control of hazardous environmental conditions, however, occupational accidents and diseases continue to occur, as evidenced by accident statistics, which show an increase of 9.3% in occupational accidents (OA) in 2023 compared to 2022, 12.6% compared to 2021 and 30% in relation to 2020, which is equivalent to an average of 1,524 accidents per day (Fasecolda-Federation of Colombian Insurers, 2023)

This situation highlights the need to explore new risk control strategies, for which it is proposed to develop research under the methodology of surveillance and intelligence against the use of immersive technologies in the field of occupational safety and health (OSH).

To this end, a keyword identification was carried out, reviewed by a group of experts, to design a search equation applied to sources such as Scopus, Carrot2, Google Patents and trend analysis reports.

The results were analyzed through bibliometrics, scientometrics and patent review, culminating in an assessment of the information through an opportunity map, which consists of the design of a visual tool that allows identifying and prioritizing areas where improvements, innovations or new initiatives can be implemented in the face of the use of immersive technologies in the field of OSH. such as workplace inspection, training, job design, and remote monitoring, among others.

These initiatives were evaluated under the criteria of time and impact, and it is considered that they could significantly influence the creation of safe work environments, promoting productive development and improving the well-being of workers.

The research led to the conclusion that the most common application of immersive technologies worldwide focuses on training, particularly in sectors with high accident rates, such as construction. So far, the studies carried out have not focused on isolated training, although positive short-term results have been recorded in the behaviour of workers in relation to the prevention of accidents through intervention in their behaviour. However, it is essential to carry out additional studies that analyze the long-term impact to determine its specific effect on the prevention and reduction of occupational accidents.

Keywords: Safety and health at work, occupational risks, immersive technology, virtual reality, augmented reality, surveillance and intelligence.

Introducción

La seguridad y salud en el trabajo en Colombia se encuentra claramente definida en el decreto 1072 del 2015, como “la disciplina que trata de la prevención de las lesiones y enfermedades causadas por las condiciones de trabajo, y de la protección y promoción de la salud de los trabajadores. Tiene por objeto mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo, así como la salud en el trabajo, que conlleva la promoción y el mantenimiento del bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las ocupaciones”, para desarrollar este propósito es necesario identificar los riesgos asociados a las tareas desarrolladas e implementar los controles jerárquicos requeridos, los cuales se pueden clasificar en controles en la fuente, en el medio y en la persona, siendo el primero el que permite la eliminación del riesgo y los demás se basan en la disminución del mismo.

Los controles de riesgos laborales propuestos a menudo se centran en el individuo, destacando la formación como un aspecto crucial. Esta formación permite reinterpretar comportamientos cotidianos mediante la integración de conocimientos previos, experiencias y nuevos aprendizajes adquiridos en un proceso educativo enfocado en la prevención de riesgos (Crespo, 2015). Así, se convierte en un facilitador que promueve la transferencia de conocimiento y afecta directamente el comportamiento de los trabajadores, lo cual debería reflejarse en las estadísticas de accidentes laborales. Al investigar el uso de tecnologías inmersivas en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo (SST), se observa que su aplicación se concentra en procesos formativos. Estas tecnologías ofrecen experiencias prácticas y vivenciales que transforman las estrategias educativas, buscando integrar el aprendizaje basado en la experiencia, lo que favorece el desarrollo de la memoria procedimental y la consolidación

de habilidades motoras específicas a través de la interacción y las instrucciones de movimiento. Bajo esta premisa la tecnología inmersiva -Entendida como la tecnología que intenta imitar una experiencia real a través de una réplica digital o simulada (Dorrier, 2017) - se viene consolidando como una herramienta innovadora, aplicable a este tipo de aprendizaje ya que le ofrece al trabajador la posibilidad de entrenarse, fallar y volver a intentarlo tantas veces como lo requiera, hasta que se desarrollen en él, las habilidades y destrezas necesarias que le permitan, por ejemplo, actuar y reaccionar en situaciones reales futuras ante accidentes, eventos fortuitos o fallos de funcionamiento (Flores et al., 2015)

Se sugiere investigar otros posibles usos de esta tecnología que respalden la decisión de los empresarios de adoptarla. Para ello, se plantea llevar a cabo un ejercicio de vigilancia e inteligencia que proporcione una base sólida para la toma de decisiones informadas, considerando la incertidumbre inherente a la implementación de estas innovaciones en las organizaciones.

Objetivo General

Orientar los procesos de toma de decisiones de las organizaciones colombianas para la implementación de las tecnologías inmersivas en el campo de la seguridad y la salud en el trabajo (SST).

Objetivos Específicos:

1. Identificar las tendencias e investigaciones adelantadas en los últimos 5 años frente al uso de la tecnología inmersiva en el ámbito de la seguridad y la salud en el trabajo (SST).
2. Analizar las investigaciones, tendencias y resultados frente al uso de la tecnología inmersiva en el ámbito de la seguridad y la salud en el trabajo (SST) realizadas en el periodo 2019 al 2023.
3. Elaborar un mapa de oportunidades sobre el uso de la tecnología inmersiva en el ámbito de la seguridad y la salud en el trabajo (SST) para su orientación su aplicación en las empresas colombianas.

Problema

De acuerdo con estimaciones de la OIT cada año alrededor de 317 millones de personas son víctimas de accidentes del trabajo en todo el mundo y 2.34 millones de personas mueren debido a accidentes o a enfermedades laborales (OIT, 2023b). En la región de las Américas hay desafíos importantes relacionados con salud y seguridad. Las cifras disponibles indican que se registran 11.1 accidentes mortales por cada 100.000 trabajadores en la industria, 10.7 en la agricultura, y 6.9 en el sector de los servicios (OIT, 2019) Lo que evidencia la necesidad de continuar trabajando incansablemente en la prevención de los riesgos laborales.

Bajo el contexto actual, donde se evidencia un alto uso de la tecnología especialmente, para el desarrollo de las tareas propias del trabajo, también es notoria la disparidad en el crecimiento y uso de estas mismas tecnologías en el control de los riesgos laborales, pues en algunos casos se prioriza la inversión en materia de producción y se relega la intervención en el control de los riesgos desde la fuente.

Existen estudios que evidencian que, a pesar de la implementación de diferentes medidas técnicas y financieras aplicadas en la industria, aún se siguen presentado un número considerable de accidentes de trabajo, por lo que en la actualidad se ha hecho necesario ampliar la visión frente a la generación de los accidentes de trabajo y se habla del estudio de los factores humanos y cómo estos influyen la perpetuación de esta situación.

A través de las investigaciones realizadas por el Dr. Efraín Butron en el campo de las neurociencias aplicadas a la neuro seguridad laboral, se pudo determinar que el 80% de los accidentes de trabajo son ocasionados por factores humanos, como, problemas de

neurocompetencias, problemas de conocimientos de tareas, falta de habilidad y destrezas (Butron, 2020), por lo que se hace necesario entrenar las funciones ejecutivas y de la memoria procedimental, que permitan habilitar capacidades en el trabajador en pro de lograr un cambio en los comportamientos inseguros y buscando con esto disminuir los índices de accidentalidad laboral.

Este desarrollo de habilidades ha sido un objetivo recurrente dentro de las organizaciones y las entidades asesoras, sin embargo, al continuar con la realización de los procesos de inducción, capacitación, desarrollo de capacidades y formación de manera tradicional, no se daría lugar a cambios profundos en esta materia, por lo que, es necesario una modificación del enfoque, el cual podría ir apalancado en el uso de nuevas herramientas como las vinculadas a la tecnologías inmersivas, es así, como nace la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué evidencia existe sobre el impacto del uso de tecnologías inmersivas (realidad virtual, aumentada y mixta) en la prevención y reducción de accidentes laborales y cómo pueden estas herramientas ser implementadas eficazmente en los programas de seguridad y salud en el trabajo (SST) en las empresas colombianas?

Marco Referencial

Antecedentes

En la búsqueda constante de los seres humanos por mejorar sus condiciones de vida, han modificado el entorno de manera continua, primero para satisfacer necesidades fundamentales y luego para alcanzar objetivos que proporcionen un mayor confort. El trabajo se erige como uno de los principales métodos para mejorar la calidad de vida, donde el ser humano actúa como el protagonista y beneficiario de cada actividad. A través del uso de herramientas y técnicas, transformamos los elementos que nos rodean, lo que nos permite abordar el fenómeno de la industrialización y sus diversas revoluciones, así:

- **Industria 1.0:** Con la creación de las máquinas de vapor se genera una transformación tecnológica, social y económica que cataliza la necesidad de mano de obra para cubrir su desarrollo, con la subsecuente migración desde las zonas rurales a las grandes ciudades, dando lugar al nacimiento del capitalismo en el siglo XVII y XIX. (López, 2024) Las condiciones en las que se desarrollaba el trabajo eran precarias, con extenuantes jornadas laborales, amplia inequidad de género e incluso con la incursión del trabajo infantil bajo condiciones similares a las de los adultos. El concepto de salud no era considerado como una necesidad y menos como un derecho (Niño, 2020)
- **Industria 2.0:** Con el surgimiento de la electricidad se genera la mecanización de los procesos, con ello la maquinaria fue menos voluminosa y más rápida, lo que facilita el concepto de producción en masa. Se hace más evidente la relación de las enfermedades con las actividades laborales desempeñadas dadas las condiciones en las que se desarrollaban. (Niño, 2020)

- Industria 3.0: Más adelante bajo el nacimiento de los sistemas informáticos y las computadoras se desarrolla esta nueva revolución industrial, que permitió que la producción y los procesos cambiaran completamente y fueran aún más rápidos, lo que centró la atención en el rendimiento. De igual manera con la automatización surgieron oportunidades para optimizar los procesos de fabricación y mejorar la productividad a través del diseño de maquinaria más flexible, ergonómica y segura (Badri et al., 2018)
- Industria 4.0: Incursiona con avances en genética, robótica, internet de las cosas, impresión 3D y nanotecnología, sentando las bases que ayudaran a abordar los problemas derivados del aumento poblacional y los desarrollos anteriores que fueron tan agresivos con el medio ambiente (Pangol, 2022)Es decir, su impacto puede ir desde cambios en la cadena de suministros hasta el cambio climático.
- Industria 5.0: Este es un periodo de transición, ya que cada cambio se da a mayor velocidad. En este modelo de producción se vuelve la mirada al hombre y a su interacción con la máquina, buscando potenciar la colaboración entre la creatividad del ser humano y la exactitud de las máquinas (Instituto de Investigación ESIC, 2022). Se busca un equilibrio en donde la sana interacción sea capaz de aportar los máximos beneficios.

SST e Industria: Panorama global, latinoamericano y colombiano

En el contexto de cada revolución industrial, resulta innegable la marcada influencia que estas han tenido en la salud de las personas, propiciando la aparición y evolución del concepto que hoy entendemos como seguridad y salud en el trabajo. Desde finales del siglo XIX, se

dispone de documentación que evidencia los efectos adversos de diversos productos químicos (polvos, fibras, metales tóxicos), peligros físicos (radiaciones, ruido, temperaturas extremas) y agentes biológicos que afectan la salud de los trabajadores en diversos sectores industriales (Niño, 2020)

Asimismo, los notorios accidentes laborales en sectores como el minero, la marina mercante y las pequeñas fábricas, que resultaron en incendios y explosiones con múltiples heridos graves y pérdidas de vidas, subrayaron la imperante necesidad de mejorar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo (OIT, 2019)

En respuesta a esta creciente necesidad, surgieron organismos como la Organización Internacional del Trabajo (OIT), fundada en 1919 con el objetivo de "asegurar la protección de los trabajadores contra las enfermedades generales o profesionales y los accidentes resultantes del trabajo"(OIT, 2019) A lo largo de los años, la OIT ha evolucionado para seguir el vertiginoso cambio en las dinámicas laborales, centrándose actualmente en promover los derechos laborales, fomentar oportunidades de trabajo decente, mejorar la protección social y fortalecer el diálogo sobre cuestiones laborales (OIT, 2023b)

A partir de la década de 1980, se observa una evolución en el marco normativo, pasando de una tendencia prescriptiva y protectora a un concepto más integrador y preventivo. Este cambio se sustenta en los avances tecnológicos que han impactado las dinámicas laborales y los riesgos a los que los trabajadores están expuestos (Niño, 2020). Este período marcó el surgimiento de sistemas de gestión y la implementación de la mejora continua como concepto fundamental en estos sistemas. Además, se busca generar estrategias con un enfoque más preventivo, desplazando la protección a un papel complementario (Badri et al., 2018)

La implementación de sistemas de gestión de SST, como la norma ISO 45001, ha permitido a las organizaciones identificar riesgos, involucrar a los trabajadores y mejorar continuamente las condiciones laborales. En países como Estados Unidos, la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y en Europa a través de las Normativas Europeas se establece y aplican estándares rigurosos para garantizar condiciones de trabajo seguras, las cuales suelen ser el pilar sobre el cual se adoptan normatividad en SST a nivel internacional. (Certified Specialist Bureau, 2024)

En América Latina, la SST ha avanzado significativamente, aunque los desafíos continúan. La región ha adoptado convenios fundamentales de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), como el Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores (núm. 155) y el Convenio sobre el marco promocional para la seguridad y salud en el trabajo (núm. 187). (OIT, 2023a). Sin embargo, la implementación efectiva de estos convenios varía entre los países, con diferencias en la infraestructura y recursos disponibles.

SST e Innovación Tecnológica

En el ámbito global, la OIT ha establecido la Estrategia Global en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo 2023-2029, cuyo objetivo principal es reducir las muertes, lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo mediante la promoción de un entorno laboral seguro como un derecho fundamental. Esta estrategia se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular las metas 8.8 (promoción de un entorno laboral seguro) y 3.9 (reducción de enfermedades causadas por factores ambientales). Lo anterior se encuentra alineado con variables organizaciones de gran relevancia como lo son el crecimiento económico,

la competitividad empresarial y el desarrollo en ciencia, tecnología e innovación, elementos clave para contribuir al progreso tecnológico de los países y el sector empresarial.

Colombia y el mundo han experimentado un cambio económico y social hacia la transformación digital, también conocida como la cuarta revolución industrial (Niño, 2020). Esta transformación, a nivel país, potencia las actividades en diversos sectores económicos y, al interior de las empresas, fortalece la ejecución de procesos inteligentes y colaborativos, mejorando el uso de tecnologías en un mercado dinámico y altamente competitivo (Niño, 2020)

El progreso tecnológico permite la transformación digital, la cual se ve impulsada por diversas tecnologías habilitadoras que facilitan su implementación en múltiples sectores económicos y sociales. Entre estas innovaciones se encuentran los dispositivos y herramientas de interacción humano-computador, que actúan como mecanismos de hardware y/o software, optimizando la colaboración entre las personas y la tecnología.

En la actualidad, hay una amplia gama de desarrollos en este ámbito. Estos dispositivos están orientados a fomentar distintos tipos de interacción, tales como la instrucción, la conversación, la manipulación y la exploración. (Silva et al., 2020), entre ellos encontramos asistentes virtuales como Siri o Alexa; el internet de las cosas (IoT) que es la interconexión digital de objetos cotidianos con dispositivos habilitados para internet (Gillis, 2021). 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 frente al control o monitoreo remoto de las condiciones de trabajo; la inteligencia artificial, entendida como la ciencia e ingeniería para hacer programas informáticos inteligentes, que imitan procesos cognitivos humanos (Russell & Norvig, 2016), lo cual aplicado a la SST permite la ejecución de análisis predictivos frente a la accidentalidad laboral; los robots colaborativos o cobots, creados para

interactuar físicamente con humanos en un entorno colaborativo de trabajo (Colgate, 1996), los cuales son más compactos que los robots industriales y al interactuar con las personas requieren de un entrenamiento que facilite el acoplamiento de los involucrados y reduzca la posibilidad de incidentes industriales. Finalmente encontramos la tecnología inmersiva, que se produce en un mundo artificial que el usuario experimenta como real y le permite interactuar con los elementos del entorno (Bockholt, 2017).

SST y Tecnologías inmersivas

La seguridad y salud en el trabajo (SST) es un componente crucial para garantizar el bienestar de los trabajadores y la sostenibilidad de las empresas a nivel global. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), se estima que cada año ocurren más de 2,78 millones de muertes debido a accidentes laborales y enfermedades ocupacionales (OIT, 2023b).

Este panorama ha llevado a muchos países a adoptar regulaciones más estrictas y buscar soluciones innovadoras para mejorar las condiciones laborales. En Latinoamérica, la situación es igualmente preocupante. En Colombia para el 2023 se observó un incremento del 9.3% en accidentes de trabajo (AT) en comparación con 2022, un 12.6% respecto a 2021 y un 30% en relación con 2020, lo que equivale a un promedio de 1.524 accidentes diarios (Fasecolda-Federación de Aseguradores Colombianos, 2023)

Este contexto ha llevado a las organizaciones a explorar nuevas medidas de control de riesgos, incluyendo tecnologías inmersivas, como la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (AR) y la realidad mixta (RM), las cuales han emergido como herramientas efectivas para simular entornos peligrosos y entrenar a los empleados en procedimientos de emergencia,

asegurando así el cumplimiento de normativas de seguridad (ESGinnova Group, 2023). La principal línea de implementación de estas tecnologías inmersivas ha sido enfocada a procesos formativos, sin embargo, el mercado global de tecnologías inmersivas está experimentando un crecimiento notable. Según Precedence Research, se valoró en aproximadamente 22,500 millones de USD en 2022 y se espera que alcance 167,750 millones de USD para 2032, lo que indica un interés creciente por parte de las empresas en integrar estas tecnologías en sus procesos de SST. (Combata, 2023) . En Colombia, proyectos como el liderado por Positiva Compañía de Seguros han demostrado cómo estas herramientas pueden ser utilizadas de manera efectiva para capacitar a más de 400.000 trabajadores en diversos sectores económicos.(Moreno, 2024)

En los países industrializados, ya se implementan planes formativos diversos que incluyen capacitaciones en temas como marketing, talento humano y, por supuesto, seguridad y salud en el trabajo.

En la actualidad, los empresarios se esfuerzan por mantener un alto conocimiento, mejorando las destrezas y habilidades de sus empleados para posicionar mejor sus empresas en el competitivo mercado. La fuerza de producción y rentabilidad de las empresas depende de la capacidad de los directivos para comprender el comportamiento de sus colaboradores (Organización Internacional del Trabajo, 2016)

Históricamente, las capacitaciones se centraban en empoderar al trabajador mediante el desarrollo de competencias como liderazgo, toma de decisiones y trabajo en equipo (Organización Internacional del Trabajo, 2016). Sin embargo, estudios recientes en gestión afirman que para adquirir estas destrezas se requiere la complementación con competencias internas, conocidas como neurocompetencias (Butron, 2020). Estas habilidades internas incluyen la capacidad de atención, la escucha efectiva, la creatividad, la velocidad de aprendizaje, la

gestión del estrés y el coeficiente emocional. Las deficiencias en estas neurocompetencias se reflejan en fallas humanas que afectan la seguridad en las organizaciones, incluso en aquellas con estándares de seguridad bien estructurados. En la actualidad, el enfoque de seguridad ha evolucionado hacia la conquista de los comportamientos seguros, estados emocionales, representaciones mentales, valores, motivaciones y habilidades del individuo (Butron, 2020)

Un estudio relevante realizado por Price Waterhouse Cooper en 2020 evaluó la eficacia de la formación en habilidades blandas mediante el uso de realidad virtual. En este estudio, un grupo de nuevos directivos de PWC en los Estados Unidos recibió la misma formación bajo tres posibles modalidades de aprendizaje: presencial, e-learning y realidad virtual (los alumnos solo podían seguir el curso en una de las tres modalidades). Los resultados destacaron la eficacia de la realidad virtual, ya que los alumnos completaron la formación cuatro veces más rápido que quienes la realizaron de manera presencial y 1.5 veces más rápido que los de E-learning, adicionalmente manifestaron un 275% más de confianza en poner en práctica lo aprendido, se observó mayor concentración de los usuarios (hasta 4 veces más que en el modelo E-learning), además se estima que este modelo es más rentable que las modalidades presenciales o de E-learning cuando se imparte a gran escala (Likens & Mower, 2023).

La implementación de tecnologías inmersivas en el ámbito de la formación en materia de SST y el desarrollo del talento humano ha sido objeto de estudio en los últimos años. Sin embargo, su uso sigue siendo un campo en exploración, y su integración con otras tecnologías emergentes está en constante crecimiento.

Integración de Tecnologías Inmersivas con Otras Tecnologías Emergentes

La convergencia de tecnologías inmersivas, como la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (AR) y la realidad mixta (RM), con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y la robótica colaborativa o cobots, está transformando la manera en que interactuamos con el entorno digital y físico. Esta integración no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también optimiza procesos en diversas industrias, como:

- **IA y Tecnologías inmersivas:** La inteligencia artificial permite un mayor nivel de personalización y optimización de las experiencias inmersivas. Mediante el análisis de grandes cantidades de datos en tiempo real, la IA tiene la capacidad de ajustar las experiencias a las necesidades y preferencias específicas de cada usuario (Newrona Net, 2024). De igual manera, los asistentes virtuales basados en IA pueden ser incorporados en estos entornos inmersivos, facilitando la navegación y ofreciendo información contextual, lo que permite interacciones más fluidas con el entorno digital.
- **Internet de las Cosas (IoT) y Tecnologías inmersivas:** El IoT complementa la tecnología inmersiva al permitir que dispositivos conectados recopilen y compartan datos en tiempo real. Esto es especialmente útil en entornos industriales donde se requiere monitoreo constante. Una de sus posibles aplicaciones hace referencia al uso de visores de realidad aumentada (RA) que superponen información sobre el rendimiento, estado y mantenimiento de las máquinas industriales. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite a los empleados tomar decisiones informadas basadas en datos actualizados. (S. Nazir, 2012)

- **Robótica Colaborativa o Cobots y Tecnologías inmersivas:** Su integración permite que los colaboradores/operadores puedan practicar cómo interactuar con robots colaborativos en un entorno seguro antes de trabajar con ellos físicamente. Esto es crucial en industrias donde la precisión y la seguridad son primordiales.

Aplicación práctica de las tecnologías inmersivas y sus integraciones con otras tecnologías emergentes

La Realidad Virtual (VR), Aumentada (AR), Mixta (RM) ofrecen diferentes niveles de inmersión y formas de interacción con entornos digitales, permitiendo a los usuarios sumergirse completamente en nuevas realidades. Su integración con otras tecnologías emergentes está generando un impacto significativo en varios sectores. A continuación, se presentan los sectores que se están beneficiando más con su aplicación:

- **Educación:** Las tecnologías inmersivas ofrecen experiencias interactivas y personalizadas lo que enriquece el ámbito educativo, permitiendo a los estudiantes explorar entornos complejos, de manera vivencial y con menor riesgos físicos. La integración de la inteligencia artificial en este sector resulta altamente beneficiosa, ya que facilita la creación de entornos de aprendizaje interactivos y personalizados. Por ejemplo, las plataformas de aprendizaje que utilizan RV pueden adaptar el contenido y el nivel de dificultad según el progreso del estudiante, mejorando la retención del conocimiento y la experiencia educativa en general (Newrona Net, 2024). Un caso destacado es el uso de simulaciones médicas en la formación de profesionales de la salud, donde los estudiantes pueden practicar procedimientos quirúrgicos complejos, respondiendo a preguntas y

adaptándose a sus acciones en tiempo real en un entorno seguro y controlado.

(Fundamental Surgery, 2024)

Además, los asistentes virtuales impulsados por IA pueden integrarse en entornos inmersivos para facilitar la navegación y proporcionar información contextual. Esto permite a los usuarios interactuar de manera más natural con el entorno digital.

- **Entretenimiento y Turismo:** El entretenimiento es un sector pionero en el uso de tecnologías inmersivas, especialmente en videojuegos que ofrecen experiencias completamente envolventes. (Universidad Europea Creative Campus, 2024). En turismo, estas tecnologías permiten recorridos virtuales por destinos lejanos, fomentando un turismo sostenible al reducir la necesidad de viajes físicos. (Cahuasa, 2023)

Según la especialista en hotelería Rocy Marleny Mamani Limachi, mediante el uso de códigos QR y dispositivos móviles, los turistas pueden disfrutar de experiencias enriquecidas, como la visualización de artefactos y datos sobre sitios arqueológicos en la ruta del Qhapac Ñan en Chile, la exploración de la colección del antiguo Egipto en el museo del Louvre en París, y la adrenalina de una montaña rusa en el parque temático VR Park de Dubái.

Por otra parte, los juegos basados en RV permiten a los jugadores sumergirse en mundos interactivos donde pueden interactuar con avatares con IA que responden dinámicamente a sus decisiones. Esto crea experiencias únicas y personalizadas para cada jugador, aumentando el compromiso y la satisfacción del usuario.(Newrona Net, 2024)

- **Salud:** El sector salud es uno de los mayores beneficiados con el uso de tecnologías inmersivas, las cuales se vienen utilizando para facilitar el entrenamiento de procedimientos médicos mediante simulaciones hiperrealistas, mejorando la seguridad

del paciente y reduciendo errores. También se aplican en terapias para tratar trastornos como la ansiedad o el estrés postraumático y en rehabilitación física con ejercicios interactivos que aumentan la motivación del paciente. (P. Chen, 2023)

Programas como FundamentalVR que utilizan tecnología háptica junto con RV para ofrecer formación médica a profesionales, permitiendo practicar intervenciones quirúrgicas complejas sin riesgo real adicionalmente integran IA lo cual les permite rastrear la economía de movimiento del usuario, la interacción con los tejidos, la mirada quirúrgica, la conciencia espacial 3D para garantizar una mejora rápida y eficiente del rendimiento general(<https://fundamentalsurgery.com/>, 2023). Estas integraciones no solo mejoran las competencias técnicas, sino que también contribuye a una atención al paciente más segura y efectiva.(Gani et al., 2022; <https://fundamentalsurgery.com/>, 2023)

- **Retail:** En el ámbito del comercio minorista, las tecnologías inmersivas están revolucionando la experiencia del consumidor. Mediante la realidad aumentada, los usuarios tienen la posibilidad de visualizar los productos en su entorno real antes de realizar una compra, lo que disminuye la incertidumbre y eleva la satisfacción del cliente (AppMaster, 2024). Un ejemplo destacado es IKEA Place, que permite a los usuarios situar muebles en sus hogares para evaluar su compatibilidad antes de adquirirlos. La realidad virtual amplía esta experiencia al ofrecer entornos de compra inmersivos, donde los consumidores pueden explorar una tienda virtual y examinar los productos de manera detallada sin necesidad de salir de casa. Estas innovaciones no solo enriquecen la experiencia de compra, sino que también proporcionan a los minoristas una mejor comprensión del comportamiento del consumidor a través de análisis sofisticados.

- **Industria y Manufactura:** En este sector, las tecnologías inmersivas optimizan procesos y mejoran la seguridad laboral, ya que a través de RA se pueden visualizar diagramas mientras se trabaja directamente con la maquinaria, reduciendo errores y tiempos de reparación. Además, las simulaciones virtuales permiten entrenar a los empleados en condiciones peligrosas sin riesgos reales, de igual manera permite a los equipos de trabajo visualizar prototipos en un entorno 3D antes de su diseño y producción, lo que acelera el proceso de desarrollo, facilita la colaboración entre equipos y reduce los errores de diseño.(Mirriñao, 2024)

Un ejemplo de su uso en la fase de diseño y prototipado es la industria automotriz, donde a través de RV se realiza estos procesos, lo que acelera los procesos creativos y reduce costos asociados a pruebas físicas. También se emplean simuladores para capacitar a conductores o evaluar condiciones extremas sin riesgos reales. (Ford. Sala de Prensa., 2020)

En el sector farmacéutico, su uso facilita la comprensión de procesos complejos como el funcionamiento de medicamentos en el cuerpo humano. Adicionalmente mejora la comunicación con médicos y pacientes mediante hologramas y animaciones. (Newrona, 2022)

Estos sectores están aprovechando las capacidades únicas de las tecnologías inmersivas para mejorar procesos, reducir costos y ofrecer experiencias más enriquecedoras e innovadoras.

Por otra parte, la adopción de tecnologías inmersivas en el sector industrial se relaciona estrechamente con la producción y la SST, ya que se emplean en la formación de los empleados, pues esta tecnología permite recrear con alta precisión situaciones comunes

en el entorno laboral. Un ejemplo de esto son los simuladores de vuelo impulsados por inteligencia artificial, que permiten a los pilotos entrenar en diversas condiciones climáticas y enfrentar emergencias en un entorno controlado (Murat et al., 2022). De igual manera las empresas están implementando la realidad aumentada para facilitar reuniones virtuales y colaboraciones a distancia, lo que elimina barreras geográficas y disminuye los costos relacionados con los desplazamientos.

Marco Conceptual

El presente marco conceptual es una estructura teórica que define y delimita los conceptos fundamentales y las relaciones que sustentan esta investigación, incluyendo SGSST, innovación tecnológica, tecnologías inmersivas, vigilancia e inteligencia, capacitación, internet de las cosas, inteligencia artificial.

- **SGSST:** Conjunto de elementos interrelacionados o interactivos que tienen por objeto establecer una política y objetivos de seguridad y salud en el trabajo, y los mecanismos y acciones necesarios para alcanzar dichos objetivos, estando íntimamente relacionado con el concepto de responsabilidad social empresarial, en el orden de crear conciencia sobre el ofrecimiento de buenas condiciones laborales a los trabajadores, mejorando de este modo la calidad de vida de los mismos, así como promoviendo la competitividad de las empresas en el mercado.(Decisión 584 de 2004, 2004)
- **Innovación tecnológica:** La innovación tecnológica es el proceso de diseñar y crear nuevos servicios, productos o procedimientos, o mejorar los ya existentes, utilizando la tecnología (Jain, 2023). Este proceso implica avances significativos que aportan valor, mejoran la eficiencia y resuelven problemas en diversos campos. En el contexto de SST,

la innovación tecnológica puede incluir el uso de dispositivos portátiles para monitorear las condiciones laborales y sistemas de alerta para emergencias.

- **Tecnologías inmersivas:** Las tecnologías inmersivas son un conjunto de tecnologías que permiten al usuario sumergirse en un entorno virtual, replicando el mundo real a través de experiencias digitales. Incluyen la realidad virtual (VR), la realidad aumentada (AR), la realidad mixta (MR) (E. Garcia, 2023). Estas tecnologías se utilizan en SST especialmente en el contexto de capacitación de los trabajadores en entornos simulados, lo que permite practicar respuestas a situaciones peligrosas sin riesgo real.
- **Inteligencia artificial:** La inteligencia artificial (IA) se refiere a la simulación de procesos de inteligencia humana por parte de máquinas, especialmente sistemas informáticos. Estos procesos incluyen el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas, la percepción y la comprensión del lenguaje (Russell & Norvig, 2016). En SST, la IA se utiliza para analizar grandes cantidades de datos y detectar patrones que puedan indicar problemas de seguridad o salud
- **Internet de las cosas:** El Internet de las Cosas (IoT) es una red de dispositivos físicos interconectados que pueden recopilar y compartir datos a través de una red. Estos dispositivos, incluyen desde electrodomésticos hasta maquinaria industrial, y permiten la automatización y optimización de procesos (Gillis, 2021), incluyendo en el ámbito de la SST con la monitorización remota de las condiciones de trabajo.
- **Vigilancia e inteligencia:** La vigilancia e inteligencia se refiere a la práctica de recopilar y analizar información relevante para anticiparse a los cambios y tomar decisiones informadas. En el ámbito tecnológico y científico, esto incluye la vigilancia tecnológica y

la inteligencia competitiva, que ayudan a identificar oportunidades y amenazas(Observatorio Tecnológico de la Universidad de Alicante, 2024)

Marco Teórico

Vigilancia e Inteligencia

La norma UNE 166006 versión 2018, define la Vigilancia e Inteligencia, como un proceso ético y sistemático de recolección y análisis de información acerca del ambiente de negocios de los competidores y de la propia organización, y comunicación de su significado e implicaciones destinada a la toma de decisiones (Norma UNE 166006. Gestión de La I+D+i: Sistema de Vigilancia e Inteligencia, 2018)

Según esta norma, el principal resultado de la vigilancia y la inteligencia es el conocimiento adquirido por la organización para reducir la incertidumbre en la toma de decisiones. Este conocimiento es por lo general un intangible de difícil cuantificación que se puede clasificar en las siguientes categorías:

- Anticipación: Propuestas de acciones en función de la situación relativa detectada respecto a los cambios y expectativas de cambios del entorno analizado.

- Aprovechamiento de oportunidades: Propuestas de acciones para explotar las ventajas identificadas.

- Reducción de riesgos: Propuestas de acciones para disminuir las amenazas o superar las barreras de acceso a tecnologías y/o mercados.

- Líneas de mejora: Propuestas de acciones necesarias para superar los desfases y minimizar las debilidades identificadas.

- Innovación: Propuestas de nuevas ideas y/o proyectos de I+D+i

-Cooperación: Identificación de potenciales colaboradores.

-Identificación de señales débiles: Las cuales pueden construir oportunidades en nuevos entornos tecnológicos y/o mercados para la organización.

Estos resultados deben responder a los objetivos de la vigilancia e inteligencia siendo coherentes, medibles, verificables y deben ser objeto de seguimiento y comunicación. Al planificar la consecución de estos objetivos, las organizaciones deben definir qué acciones se llevarán a cabo, qué recursos se necesitarán, quién será el responsable, cuándo se completarán y cómo se evaluarán los resultados.

La vigilancia y la inteligencia suelen considerar dos enfoques complementarios en su labor: la exploración de territorios inexplorados y el monitoreo constante de desarrollos en áreas ya reconocidas. Según las necesidades informativas identificadas para estas nuevas áreas, es esencial planificar las fuentes de información y los métodos de acceso, así como dimensionar los recursos y plazos basándose en experiencias previas y acciones anticipadas, lo que permite generar ventajas competitivas en el sector estudiado, según un estudio realizado por el Servicio Zaintek de BAI Agencia de Innovación, donde se recogen los casos de Canadá, Corea del Sur, EEUU, Israel, Japón, Reino Unido y Suecia, muestra que las empresas de las economías más desarrolladas son las que apuestan con mayor decisión por la Vigilancia Estratégica. El mismo trabajo constata que “no existe un modelo global de vigilancia, sino que estos responden a las particularidades de cada país.” (Universidad Eafit, 2020)

Para llevar a cabo un proceso de vigilancia eficaz, es esencial adoptar un enfoque sistemático que comience con la identificación y selección de información, lo cual requiere el establecimiento de una estrategia y acciones específicas en las fuentes elegidas. Las estrategias de búsqueda implementadas serán de gran utilidad en las etapas posteriores de análisis y

valorización. Una vez recopilados los datos, es necesario filtrar y validar cuáles de ellos cumplen con los criterios de información establecidos, considerando aspectos como la fiabilidad de las fuentes, la validez, la oportunidad, la pertinencia, la relevancia y la utilidad.

El tratamiento de la información varía sustancialmente en función de la calidad de las fuentes de información. Generalmente, esto implica una etapa inicial de preparación de los datos, que incluye su limpieza y normalización. Tras esta fase, se lleva a cabo un tratamiento preliminar de la información, que se divide en análisis exploratorio de datos estructurados (como series de datos) y no estructurados (como textos, imágenes y gráficos). A partir de los resultados obtenidos en estos análisis iniciales, se avanza hacia un análisis matemático o estadístico, donde la elección de la técnica se basa en el tipo de problema a abordar. En situaciones donde la información recopilada no cumple con las expectativas y requiere un análisis más profundo, es esencial valorizarla para facilitar la toma de decisiones.

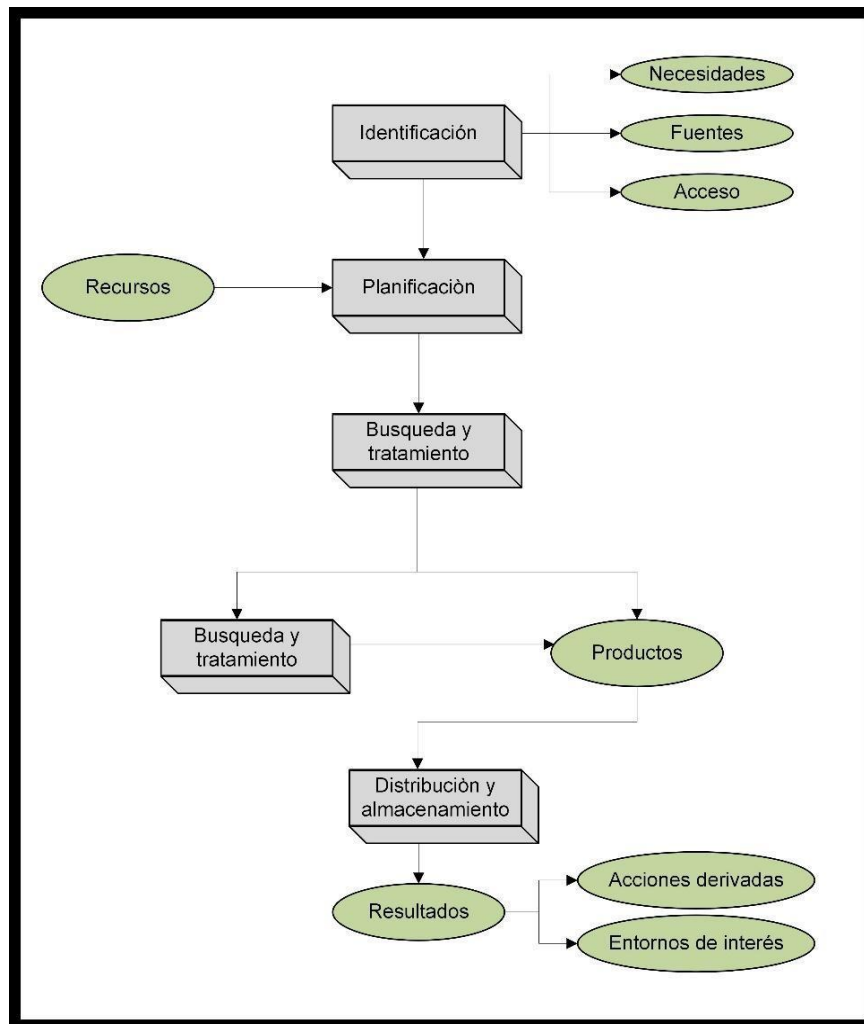
Los productos de la vigilancia y la inteligencia se deben distribuir a las partes interesadas de la organización de acuerdo con sus necesidades, apoyándose en los canales de comunicación existentes y complementándose con acciones de seguimiento y dinamización. (Ver Figura 1).

Además de los resultados previamente mencionados, la vigilancia y la inteligencia tienen como objetivo detectar "señales débiles" que podrían representar oportunidades en nuevos contextos tecnológicos y/o de mercado para la organización, o bien facilitar el desinterés en ciertos entornos considerados. La información sobre los entornos de interés es fundamental dentro de lo que se comunica a la dirección y debe incluir elementos que orienten la toma de decisiones estratégicas; estos elementos pueden abarcar la evaluación de opciones tecnológicas y/o de mercado, los efectos e interacciones entre tecnologías, productos y procesos, las proyecciones de evolución tecnológica, así como oportunidades de inversión, crecimiento y

tendencias sociales, que pueden contribuir a la formulación de visiones futuras basadas en hipótesis plausibles sobre las tendencias emergentes y la evolución de variables contextuales.

Figura 1

Proceso de realización de la vigilancia e inteligencia.



Fuente: AENOR UNE 166.006: 2018, pag.20.

Seguridad y salud en el trabajo

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la salud como “un completo estado de bienestar en los aspectos físicos, mentales y sociales” y no solamente la ausencia de enfermedad. Esta definición forma parte de la Declaración de Principios de la OMS desde su

fundación en 1948. Además, la declaración subraya que la salud es un derecho humano fundamental y que alcanzar el máximo nivel de bienestar requiere la colaboración entre individuos y naciones, así como la implementación de políticas sociales y de salud efectivas.

Para lograr este estado es necesario la integración de los aspectos sociales, psíquicos y físicos en un todo armónico, así como, la adopción de un marco común para el desarrollo de políticas de salud por parte de los estados. La salud, entonces, debe entenderse como un estado que siempre es posible de mejorar y que implica considerar la totalidad de los individuos, relacionados entre sí y con el medio ambiente en el que viven y trabajan. De acuerdo con lo anterior, la salud laboral se preocupa de la búsqueda del máximo bienestar posible en el trabajo, tanto en la realización del trabajo como en las consecuencias de éste, en todos los planos, físico, mental y social (Parra, 2003)

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la SST es un derecho fundamental que debe ser garantizado para todos los trabajadores. Esta disciplina abarca diversas áreas, incluyendo la identificación de riesgos, la promoción de prácticas seguras y la capacitación de los empleados para manejar situaciones potencialmente peligrosas. En Colombia, el Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL) regula las condiciones de SST, brindando cobertura a los trabajadores frente a accidentes y enfermedades laborales.

En Colombia, el programa de salud ocupacional se establecía como un requisito en el ámbito de los riesgos laborales, regulado por la Resolución 1016 de 1989 (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., 1989) Este programa abarcaba la planificación, organización, ejecución y evaluación de actividades relacionadas con la Medicina Preventiva, Medicina del Trabajo, Higiene Industrial y Seguridad Industrial, con el

objetivo de preservar, mantener y mejorar la salud tanto individual como colectiva de los trabajadores en sus respectivos entornos laborales, implementándose de manera integral e interdisciplinaria. La normativa mencionada estuvo vigente hasta el 31 de mayo de 2017, momento en el cual fue reemplazada por el decreto 1072 de 2015, que en su artículo 2.2.4.6.37 establece que

“Todos los empleadores públicos y privados, los contratantes de personal bajo cualquier modalidad de contrato civil, comercial o administrativo, organizaciones de economía solidaria y del sector cooperativo, así como las empresas de servicios temporales, deberán sustituir el Programa de Salud Ocupacional por el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), a partir del 1° de junio de 2017 y en dicha fecha se debe dar inicio a la ejecución de manera progresiva, paulatina y sistemática de las siguientes fases de implementación...»” (Decreto Único Reglamentario Del Sector Trabajo, 2015)

Esta modificación se alineó con los principios establecidos por la OIT desde 1977, que introdujo su Programa Internacional para el Mejoramiento de las Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (PIACT), anticipándose a la evolución del concepto, ya que el cambio de modelo se centra en la reorganización de la seguridad y salud laboral como un sistema de gestión dinámico, orientado a la mejora continua, en contraste con el enfoque más estático del programa de salud ocupacional, que limitaba la adaptación a los desafíos y hallazgos en el ámbito de la salud en las empresas.

Dentro de los elementos que permiten visibilizar la evolución del sistema y la integración del concepto de mejora continua se encuentran:

-Los indicadores de gestión: La mejora continua se fundamenta en la gestión de indicadores, los cuales facilitan la evaluación del grado de cumplimiento y la magnitud de los cambios, así como la efectividad en el logro de los objetivos del sistema y la contribución de las acciones implementadas a dichos objetivos. El Decreto 1072 del 2015 (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., 1989) en sus artículos 2.2.4.6.19 a 2.2.4.6.22 establece la obligación de contar con tres tipos de indicadores dentro del SG-SST: de estructura, de proceso y de resultado, estos indicadores son fundamentales para evaluar distintos aspectos de la implementación y ejecución de las actividades del sistema (Decreto Único Reglamentario Del Sector Trabajo, 2015), en contraste con la Res. 1016 de 1989, que únicamente requería el registro estadístico del ausentismo por enfermedad general, enfermedad laboral y accidentes de trabajo (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., 1989)

-Revisión por la dirección y rendición de cuentas: Es un concepto tomado de la Norma OHSAS 18001. Estas actividades del SG-SST reguladas por los artículos 2.2.4.6.8 y 2.2.4.6.31 del Decreto 1072/2015, buscan informar a los tomadores de decisiones sobre las actividades y resultados obtenidos en la empresa, así como, realizar una revisión conjunta entre la dirección, el responsable del SGSST y quienes participen de su implementación (Por ejemplo, el Comité paritario de seguridad y salud en el trabajo -COPASST-) para identificar las acciones de mejora necesarias para el próximo periodo, todo ello en el marco del proceso de verificación del ciclo planear, hacer, verificar y actuar (ciclo PHVA).(Decreto Único Reglamentario Del Sector Trabajo, 2015)

-Participación: El Decreto 1072/2015 establece que la dirección y el COPASST deben participar activamente en el SG-SST desde sus inicios, durante la formulación y revisión de la política, así como en la definición de los objetivos del sistema, con el fin de asegurar su coherencia con los objetivos estratégicos de la empresa. Asimismo, se somete a revisión conjunta el cronograma de actividades anual. (Decreto Único Reglamentario Del Sector Trabajo, 2015)

Estos cambios, de obligatorio cumplimiento ya son aplicados en las empresas colombianas, no obstante, pueden ser insuficientes para el control del riesgo, especialmente en un entorno en constante transformación, donde la aparición de nuevas modalidades en la organización laboral, el avance tecnológico, la globalización y el acceso a la información exigen la adopción de un nuevo paradigma en materia de seguridad y salud en el trabajo, entendiendo, que este, al igual que otros conceptos responde a un enfoque evolutivo, que de acuerdo a Hale y Hovden (1996), se puede clasificar en tres eras: la era de la tecnología, la era del factor humano, y la era de los sistemas de gestión. En el siglo XXI se da inicio a una nueva era, conocida como “tecnología de la resiliencia” que puede dar respuesta a los nuevos desarrollos tecnológicos y sociales de este siglo.

Eras de la SST

Según las investigaciones realizadas por la doctora Patricia Canney, experta en Salud Ocupacional, quien ha enfocado gran parte de su trabajo en analizar cómo las organizaciones pueden lograr un elevado nivel de madurez en su Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), cada periodo de la seguridad se distingue por:

- **Era de la tecnología:** Las principales amenazas fueron generadas por los desarrollos tecnológicos. Las herramientas, maquinaria, equipos fueron identificados como la causa

primaria de accidentes. Aparece el modelo causal conocido como la teoría “dominó” y la “pirámide de Heinrich”. Ambas propuestas fueron muy importantes y posteriormente se propuso la teoría de la “seguridad basada en el comportamiento”.

- **Era de los factores humanos:** Se suma la tecnología al concepto de factores humanos y sistemas sociotécnicos de ese momento. Se desarrollan herramientas para la identificación y control de peligros como: HAZOP (Análisis de peligro y operabilidad), FMEA (análisis de modo de fallas y efectos), matrices de riesgo PHA (análisis preliminar de riesgos). Los accidentes industriales alertaron a los investigadores en la materia y se introdujo el concepto de “error humano”. Aparece el modelo causal por los investigadores James Reason conocido como “el queso suizo” (1990) y la propuesta de Jens Rasmussen en su propuesta de los modos de actuación.
- **Sistemas de Gestión:** Desastres como el de Bhopal en la India (1984), el accidente del transbordador espacial “Challenger” (1986), el accidente de Chernóbil (1986) y el desastre medioambiental causado por el Exxon Valdez (1989) entre otros dan importancia a los conceptos de Clima y Cultura de la Seguridad. Se comprende que las causas de los accidentes van más allá del factor humano y se introdujo el concepto de la “organización” como elemento a considerar. Aparece la “Administración de los Sistemas de Seguridad”. La globalización dando importancia a los sistemas de gestión.
- **Ingeniería de la Resiliencia:** Esta era surge de la discusión de los cambios que se dan en el mundo del trabajo, también del análisis de algunos desastres que ocurrieron durante los primeros años de este siglo y que algunos autores como Jean Christophe Le Coze refieren como un “deja-vu” de la década de los 80. La explosión en el depósito de petróleo “Buncefeld” (2005), El derrame de petróleo “Macondo Deep Water Horizon” (2010), el

desastre nuclear en Japón “Fukushima Daiichi” (2010), el accidente en la planta de Dupont en Texas (2014) y muchos otros. Se identificaron las principales acciones de la SST enfocadas en controlar las fuentes de riesgo, estandarización, certificaciones, procedimentación y seguridad en las personas, descuidando los procesos y los indicadores. Surgen entonces, propuestas como la de ingeniería de resiliencia en seguridad (David Woods), safety II (Erick Hollnagel), safety differently (Sidney Dekker) y muchas otras, que se están discutiendo como una nueva forma de pensamiento. Se propone un cambio acorde con el desarrollo técnico y social de este siglo, dando respuesta a las necesidades de las organizaciones.

En este contexto, es crucial reconocer la imperiosa necesidad de reformar la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo, con el objetivo de que las iniciativas del sistema se alineen con las crecientes complejidades organizacionales y los constantes cambios del entorno que impactan directamente en el ámbito laboral. Esto conlleva a que la seguridad y salud en el trabajo enfrente nuevos retos, donde la integración de la tecnología, la innovación y los nuevos paradigmas se vuelven indispensables. Como señala Johan Rockström, un destacado científico sueco reconocido por su labor en sostenibilidad global, “es esencial abandonar el pensamiento lineal y adoptar un enfoque más flexible que se adapte a los sistemas sociotécnicos complejos”.

Tecnología inmersiva

Las tecnologías inmersivas son definidas como herramientas que permiten crear entornos digitales que simulan la realidad física, proporcionando experiencias interactivas y multisensoriales. Estas tecnologías buscan replicar el mundo real a través de experiencias

digitales que captan estímulos sensoriales, permitiendo la interacción del usuario en un entorno diseñado por software (E. Garcia, 2023)

En los últimos años las tecnologías inmersivas han ido desarrollándose, haciendo parte de lo que conocemos como “tecnologías emergentes”, propias de la industria 4.0, teniendo un mayor impacto en distintos sectores, como los videojuegos, el entretenimiento y más recientemente en áreas como la educación, la salud y el mundo empresarial. Estas tecnologías se clasifican en realidad virtual (RV), realidad aumentada (RA), realidad mixta (RM) y contenidos 360. Su objetivo es replicar el mundo real y físico a través de una experiencia digital, permitiendo el acceso a nuevas interacciones mediante formatos tecnológicos (Arias, 2024)

Clasificación de las tecnologías inmersivas

1. **Realidad Virtual:** La realidad virtual se puede describir como un entorno generado por computadora que permite a los usuarios interactuar con imágenes digitales llamadas avatares (Herbst et al., 2021) La realidad virtual permite visualizar y manipular objetos 3D virtuales, recreando entornos en formato digital, así como, modelar diversas situaciones, asumir roles no propios y maximizar el potencial individual (Revista Lectora, 2024). Para su uso es necesario contar con dispositivos especiales, como visores o gafas. Las características del espacio virtual ofrecen total libertad de decisión en un entorno participativo y con menor riesgo, por lo que ha venido en aumento su uso en entornos educativos.

2. **Realidad aumentada:** Esta tecnología transforma el entorno físico en una interfaz digital, agregando nuevos elementos y ampliando sus capacidades. Esencialmente, la AR es una extensión del mundo real con la adición de objetos virtuales (Revista Lectora, 2024). Se

puede referir como una técnica para mejorar la percepción humana y la extracción de información del entorno virtual al mundo real (Babalola et al., 2023) En el ámbito educativo puede ser utilizado para crear "ilustraciones vivientes", es decir, permite visualizar modelos tridimensionales en lugar de imágenes bidimensionales.

3. **Realidad mixta:** La RM puede describirse como una simulación que consiste en mezclar objetos virtuales y el mundo real en un entorno semi-virtualizado y mixto. La RM consiste en la RA, que es la mejora de la realidad con objetos virtuales, y la Virtualidad Aumentada (AV), que es la mejora del mundo virtual con objetos reales (Rauh et al., 2021). La combinación de realidad aumentada y realidad virtual hace que todas las interacciones en el entorno digital sean más realistas. En la realidad mixta los objetos físicos y los usuarios coexistan en tiempo real. La realidad mixta se considera una versión ampliada de la realidad aumentada, que combina las capacidades de los cascos de realidad virtual con la superposición de texturas e imágenes en el entorno circundante. Esto crea un nuevo espacio en el que los objetos virtuales están completamente integrados e interactúan con el mundo real.

En la tabla 1 se mencionan las diferencias entre las características de los tres tipos principales de tecnologías inmersivas.

Tabla 1

Características de los diferentes tipos de tecnologías inmersivas

Funciones	Realidad virtual (RV)	Realidad aumentada (RA)	Realidad mixta (RM)
Nivel de contenido virtual/sintético	Alto	Bajo	Medio
Nivel de contenido real	Bajo	Alto	Alto
Nivel de interacción	Bajo	Medio	Alto
Nivel inmersivo	Alto	Medio	Medio

Fuente: Tomado de Babaloba, A, 2023.

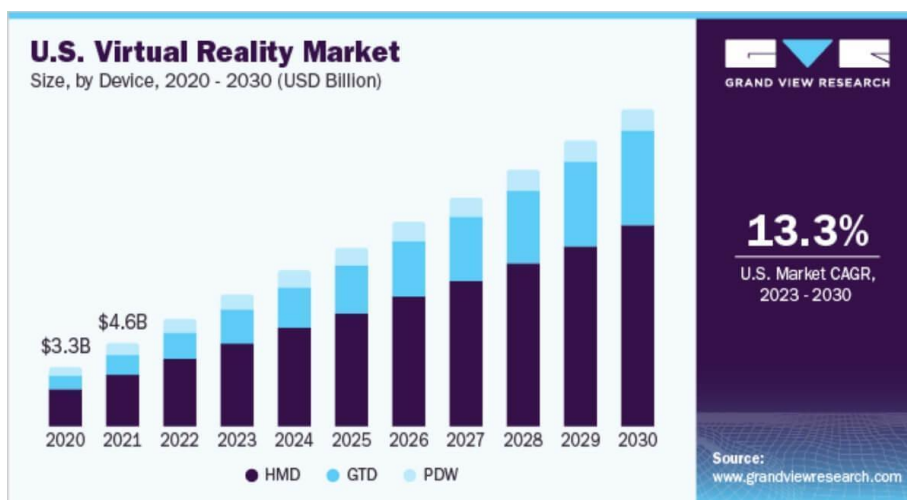
Aplicaciones de las tecnologías inmersivas

A pesar de que las tecnologías inmersivas no constituyen innovaciones tecnológicas recientes, su implementación en el sector industrial se encuentra en una fase inicial, dado que su uso sistemático y a gran escala por parte de la industria y la sociedad en general ha sido limitado a los últimos cinco años, especialmente con fines de capacitación y educación, especialmente en forma de juegos serios inmersivos debido a su capacidad para involucrar a los usuarios (Arias, 2024; Pribadi et al., 2024; S. Nazir, 2012)

Dentro del espectro de tecnologías inmersivas, la que tiene un mayor nivel de aplicabilidad es la realidad virtual, de hecho, según un estudio adelantado por Grand View Research, empresa de consultoría e investigación de mercado con sede en los Estados Unidos, se estima que en 2022 el tamaño del mercado mundial de realidad virtual alcanzó una suma de 28.4 billones de dólares, y se proyecta una tasa de crecimiento anual del 13,3 % entre 2023 y 2030 (Ver Figura 2), esto apalancado principalmente en la industria del entretenimiento, sin embargo, se observa un uso creciente por parte de las empresas de todos los sectores como herramienta tecnológica para la optimización de todos los procesos productivos, de hecho, un número cada vez mayor de organizaciones reportan que las tecnologías inmersivas hacen parte del futuro inminente debido a su menor tiempo para la capacitación y la infraestructura, la reducción de los costos laborales y operativos, el aumento de la productividad, al tiempo que garantiza la seguridad de los seres humanos y las instalaciones (Saghafian et al., 2020)

Figura 2

Tasa de crecimiento estimada del mercado de realidad virtual



Fuente: Grandviewresearch.com

En América Latina, la adopción y el desarrollo de tecnologías avanzadas aún no alcanzan los niveles observados en otras regiones; no obstante, se puede apreciar un crecimiento inicial en áreas como la salud, la cultura, el entretenimiento y la educación. Su presencia en el sector industrial es más limitada, pero la urgente necesidad de adaptarse a entornos tecnológicos en constante evolución, impulsada por macro tendencias que demandan la integración de elementos de la industria 4.0, está propiciando una mayor penetración de estas tecnologías en dicho sector. Cabrera 2023, menciona que la realidad virtual en las empresas se está convirtiendo en un valor agregado que contribuye al mejoramiento de todos los procesos productivos. Esta tecnología permite agilizar procesos al aplicar una metodología que depende menos de las personas, reduciendo así el error humano.

A pesar de las implicaciones en tiempo y dinero, este tipo de tecnologías pueden ser adoptadas por cualquier empresa, según Cabrera 2023 y García 2021, podrían considerarse potenciales beneficios para los negocios, evidenciados en:

- **Experiencia de cliente:** Gracias a esta tecnología es posible realizar compras online paseando de manera virtual por un supermercado físico. Además, en el ecommerce permite que los usuarios conozcan mejor las características del producto que desean comprar. Otro de sus aplicaciones está relacionado con el engagement de alto impacto a través el uso de imágenes en 3D, en combinación con el storytelling.
- **Innovación y reconocimiento de marca:** La realidad virtual facilita la exposición de ideas o estrategias de marketing de manera innovadora, lo que proporciona una notable ventaja competitiva. Además, posibilita la creación de productos o servicios más atractivos para los consumidores. En relación con los clientes potenciales, la realidad virtual les ofrece una visión más clara de lo que la empresa tiene para ofrecer. Un estudio realizado por Nielsen en 2017 indicó que el 84% de los usuarios de realidad virtual recordaron la marca, en contraste con solo el 53 % de quienes fueron expuestos a publicidad convencional.
- **Formación y capacitación:** Facilita que los trabajadores adquieran nuevas competencias y métodos en un entorno simulado, evitando los riesgos y gastos vinculados al entrenamiento en situaciones reales. La investigación indica que la formación mediante esta tecnología resulta en mayores índices de retención y beneficios (Likens & Puthiyamadham, 2020)
- **Toma de decisiones:** Puede ser utilizada para visualizar escenarios y simulaciones de procesos y sistemas industriales, permitiendo a los directivos tomar decisiones más informadas y efectivas, incluso antes de que se construya un prototipo real.

- **Seguridad laboral:** Permite simular situaciones de riesgo y entrenar a los trabajadores en la respuesta a situaciones de riesgo, constituyendo una innovación altamente aplicable. Esta metodología brinda a los trabajadores la oportunidad de practicar, cometer errores y repetir el proceso tantas veces como sea necesario, lo que les permite adquirir las habilidades y competencias esenciales para actuar y reaccionar adecuadamente. Esto podría resultar en una disminución de los accidentes laborales y, por ende, en la reducción de los costos relacionados con esta problemática.

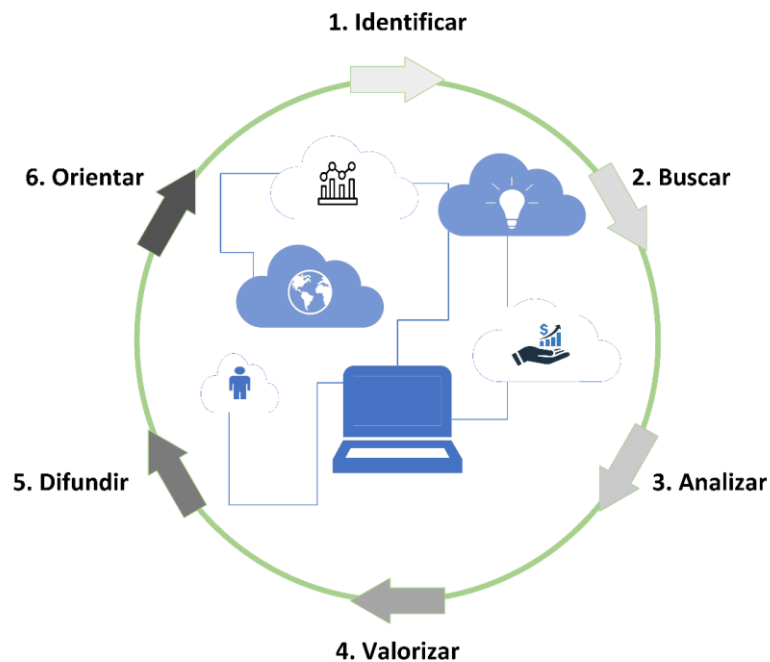
En cada uno de estos escenarios, resulta fundamental que, junto con la adopción de estas tecnologías, se establezcan normativas que salvaguarden los derechos fundamentales de los usuarios, tales como el derecho a la privacidad y la protección de datos personales. Además, emergen interrogantes éticos que son esenciales al evaluar la aplicación de estas tecnologías, lo que conlleva la necesidad de crear regulaciones y legislaciones en diversas áreas.

Metodología

Para el desarrollo de este estudio de vigilancia e inteligencia aplicado a las tecnologías inmersivas en el contexto de la seguridad y la salud en el trabajo se propone seguir los lineamientos establecidos por la norma UNE 166006 de 2018 (Norma UNE 166006. Gestión de La I+D+i: Sistema de Vigilancia e Inteligencia, 2018). Esta norma establece los requisitos para un sistema de vigilancia e inteligencia, proporcionando directrices para la observación sistemática y la identificación de cambios y novedades, con el objetivo de recopilar información, seleccionar y analizar datos, y comunicar los hallazgos, transformándolos en conocimiento útil para la toma de decisiones y el monitoreo de los resultados obtenidos (Ver Figura 3).

Figura 3

Ciclo de la vigilancia y la inteligencia.



Fuente: Adaptada de la Guía de Vigilancia e inteligencia tecnológica de la OVTT.

Identificación de Necesidades

Se delimita el campo de interés al uso de la tecnología inmersiva en el ámbito de la seguridad y la salud en el trabajo (SST), esto derivado de la necesidad recurrente de generar e implementar nuevas y mejores estrategias para fomentar una cultura de seguridad, basados en las cifras asociadas a la accidentalidad en Colombia, que para el 2022 presentaron un aumento del 6% en el total de accidentes laborales, alcanzando 542.983 episodios frente a los 513.857 contabilizados en 2021, lo que representó una tasa de 4,65 accidentes por cada 100 trabajadores (Jimenez, 2023)

Búsqueda de la Información

En esta etapa se diseña e implementa la estrategia de recopilación de información. Para ello, una vez definidos los objetivos de la búsqueda de información, se elabora la estrategia para precisar las necesidades, las cuales son consolidadas en la ficha de vigilancia e inteligencia (Ver Tabla 2).

Esta etapa requiere combinar conocimientos en monitorización de información, capacidad de análisis crítico y habilidades técnicas para el manejo eficiente de herramientas informáticas, para gestionar la sobreinformación. Se realiza una selección de las fuentes de información relevantes sobre ciencia, tecnología e innovación y se organizan los resultados.

El desarrollo de esta fase de la vigilancia y la inteligencia implican tareas como: Identificación de los factores críticos de vigilancia, identificación de las cuestiones críticas de vigilancia, definición de las palabras clave, validación de expertos, selección de fuentes de información relevantes, formulación de ecuación de búsqueda y elaboración del corpus o registros realizados.

Tabla 2

Ficha de vigilancia e inteligencia

UNIVERSIDAD DEL VALLE	
Maestría en Prospectiva e Innovación	
Reporte-Boletín Vigilancia Tecnológica	
Estudiante: Astrid Enciso (202300454) Fecha de Elaboración: 31/05/2024	
Temática: USO DE LA TECNOLOGÍA INMERSIVA EN EL CAMPO DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO EN COLOMBIA	
Objetivo VT	Identificar la aplicabilidad de las tecnologías inmersivas en el campo de la seguridad y la salud en el trabajo (SST).
Factores Críticos de Vigilancia	1. Seguridad y salud en el trabajo/Occupational Safety and Health 2. Tecnologías inmersivas/Immersive Technologies
Cuestiones Críticas de Vigilancia	1. ¿Cuáles tecnologías de realidad inmersiva son aplicables al campo de la seguridad y la salud en el trabajo? 2. ¿Se cuenta con evidencia que valide la aplicabilidad y resultados del uso de las tecnologías inmersivas en la reducción de indicadores críticos en materia de seguridad y salud en el trabajo? 3. ¿Existe evidencia que permita validar que el uso de las tecnologías inmersivas puede prevenir o disminuir la ocurrencia de accidentes de trabajo?
Tipos de VT	Científica (artículos científicos)
	Tecnológica (patentes)
	Estratégica (reportes, análisis de tendencias, informes)
Condicionantes	Últimos 5 años (2019-2023)
	Consulta a escala mundial
	Entrenamiento simulado usando tecnologías inmersivas

Fuentes	Artículos: Scopus, Carrot2 Patentes: Google Patents Reportes, Análisis de tendencias, informes: Foro Económico Mundial Referenciación: Documentos Institucionales y Páginas Web
Fuente: Elaboración propia	

Los factores críticos de vigilancia (FCV) o Key Intelligence Topics (KIT) son elementos clave que se deben monitorear para mantener su competitividad (Rovira. C., 2008). Según la NormaUNE 166.002, los FCV son cuestiones externas cuya evolución es crucial para las organizaciones. Estos pueden incluir:

Tecnologías emergentes: Nuevas tecnologías que podrían impactar significativamente en el sector.

Competidores actuales y potenciales: Empresas que representan una amenaza o una oportunidad.

Desarrollo de los mercados: Cambios en las tendencias del mercado que podrían afectar la demanda de productos o servicios.

Entorno regulatorio: Normativas y leyes que podrían influir en las operaciones de las organizaciones

En el caso del objetivo de búsqueda de este estudio se identificaron dos factores críticos de vigilancia:

1. Seguridad y salud en el trabajo
2. Tecnologías inmersivas

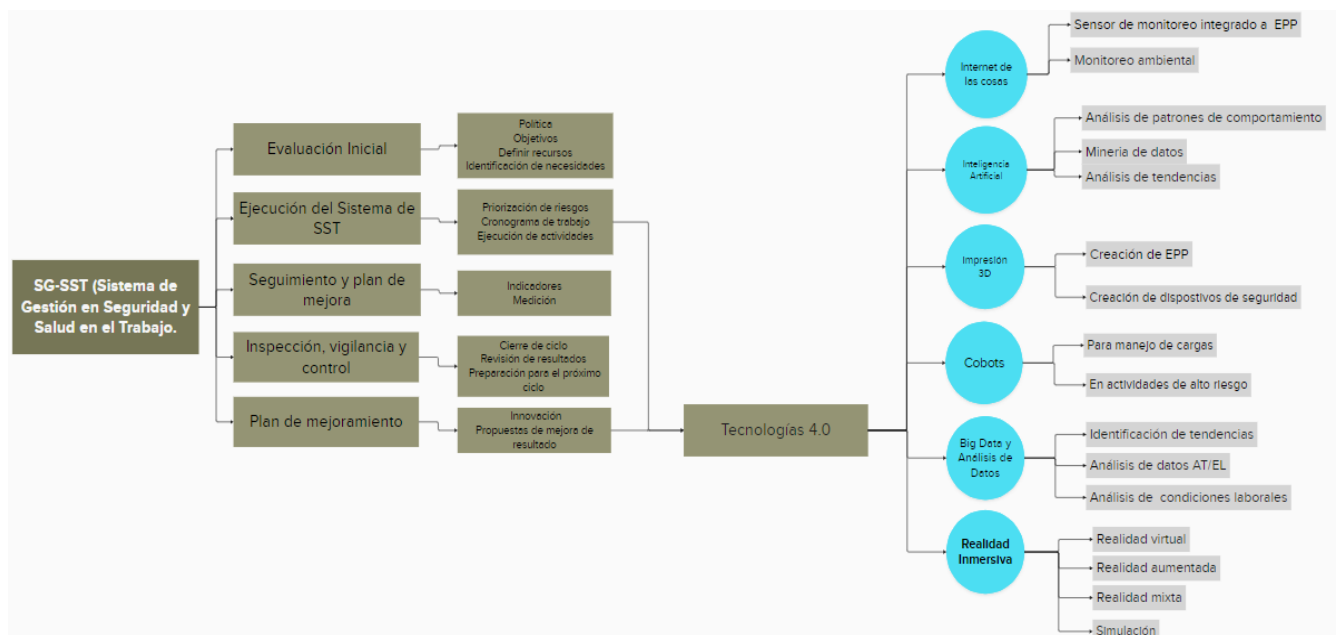
Los cuales se definen teniendo en cuenta la incursión de tecnologías emergentes en la disciplina de la seguridad y la salud en el trabajo, así como, la necesidad de ayudar a las

organizaciones a anticiparse a cambios y tomar decisiones informadas, para minimizar los riesgos y aprovechar las oportunidades que este tipo de tecnologías les pueden ofrecer en materia de control de riesgos laborales y su impacto en la productividad empresarial (Ver Figura 4).

Figura 4

Relación del Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo y las Tecnologías

Inmersivas



Fuente: Elaboración propia.

Para la definición de los FCV o KIT es primordial la definición de las cuestiones críticas de vigilancia (CCV) o Key Intelligence Questions (KIQ), que buscan obtener todas las respuestas necesarias para poder resolver y decidir sobre los factores críticos a vigilar.

Cuestiones Críticas de Vigilancia (CCV)

Las cuestiones críticas de vigilancia (CCV) o Key Intelligence Questions (KIQ), son preguntas estratégicas diseñadas para guiar la recopilación y el análisis de información en los procesos de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, permitiendo enfocar los factores críticos de vigilancia (Observatorio Tecnológico de la Universidad de Alicante, 2024). En este caso y considerando que el objetivo de este reporte es, identificar las tendencias e investigaciones adelantadas en los últimos 5 años frente al uso de la tecnología inmersiva en el ámbito de la seguridad y la salud en el trabajo (SST), se definieron las siguientes:

1. ¿Cuáles tecnologías de realidad inmersiva son aplicables al campo de la seguridad y la salud en el trabajo?
2. ¿Se cuenta con evidencia que valide la aplicabilidad y resultados del uso de las tecnologías inmersivas en la reducción de indicadores críticos en materia de seguridad y salud en el trabajo?
3. ¿Existe evidencia que permita validar que el uso de las tecnologías inmersivas puede prevenir o disminuir la ocurrencia de accidentes de trabajo?

Estas CCV buscan asegurar que los esfuerzos de vigilancia e inteligencia estén alineados con el objetivo del reporte y su resolución proporcione información valiosa para la toma de decisiones organizacionales por parte de las empresas colombianas en cuanto a la adopción de las tecnologías inmersivas en el campo de la seguridad y la salud en el trabajo.

Para dar respuesta a estos cuestionamientos es necesario definir unas palabras clave de búsqueda, esta se encuentra enfocada en tres tipos de vigilancia:

- Científica: A través de artículos de tipo científico en bases de datos especializada, como Scopus y Carrot2.

- Tecnológica: Revisión de patentes en fuentes unificadas, dedicadas a la recopilación de esta información como Google Patents.
- Estratégica: Reportes, análisis de tendencias, ubicados en fuentes especializadas como el Foro Económico Mundial.

Palabras clave y Validación por Expertos

Las palabras clave son términos o frases específicas que se utilizan para identificar y buscar información relevante en un proceso de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva (Rovira. C., 2008). Estas palabras son fundamentales porque actúan como filtros que permiten focalizar la búsqueda, recopilar información de manera más eficiente y mejorar la calidad de la búsqueda.

Para el presente reporte se definen las siguientes palabras claves y sus sinónimos, los cuales fueron validados con un grupo de expertos en los dos factores críticos seleccionados para este reporte (Ver tabla 3).

Tabla 3

Palabras claves de investigación.

Término principal	Immersive Technologies/ Tecnologías inmersivas	Occupational Safety and Health/Seguridad y salud en el trabajo	Virtual reality training/Entrenamiento con realidad virtual
Sinónimos	"Immersive reality"	"Industrial Hygiene"	"Interactive Learning"
	"Interactive Virtual Environments"	"Occupational Safety"	"Immersive Education"
	"Virtual Environments"	"Occupational Health"	"VR training"
	"Immersive Virtual Model"	"Occupational Safety and Health Standards"	
	"Extended reality technologies"	"Risk prevention"	

"Immersive experiences"	"Occupational risks"
"XR Simulations"	"Occupational medicine"
"Mixed reality experiences"	"Occupational incidents"
	"Occupational injuries"

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la importancia que tiene la adecuada selección de las palabras clave dentro del proceso de investigación se determinó la necesidad de realizar una validación de estos términos con expertos en seguridad y salud en trabajo y en tecnologías inmersivas. En el caso, del término “Seguridad y salud en el trabajo” se realizó una reunión con un grupo de seis expertos con experiencia en procesos de formación para la prevención de accidentes y enfermedades laborales, utilizando la metodología de brainstorming o lluvia de ideas, en este espacio se plantea como eje temático las herramientas actuales para efectuar los procesos formativos en SST y posteriormente se brinda información sobre el uso de nuevas tecnologías, como la realidad virtual. En este contexto se generan asociaciones, ideas y revisiones, que permiten establecer el listado de palabras mencionadas en la tabla 2.

Para el caso del segundo término de búsqueda, se procedió a consultar en el mercado si existían empresas dedicadas a la implementación de tecnologías inmersivas puntualmente en el campo de la seguridad y la salud en el trabajo, encontrándose seis empresas nacionales que ofrecen este tipo de servicios, se estableció comunicación con las ellas compañías y tres de ellas se mostraron interesadas en participar de esta investigación.

Posteriormente se amplió el margen a empresas dedicadas al diseño de desarrollos tecnológicos utilizando tecnologías inmersivas, con experiencia en seguridad y salud en el trabajo en América Latina, recibiendo respuesta de una de ellas. Se realiza contacto directo con

el CEO de dicha empresa quien realiza la revisión de los términos iniciales y una entrevista con la investigadora de este reporte.

Las observaciones derivadas de este proceso de validación son consolidadas en la Tabla 4.

Tabla 4

Revisión por expertos

Validador Experto	Empresa	Palabras sugeridas	Observaciones
Franco Oberti	Waygroup (Colombia)	Virtual reality training	Del listado revisado sugiere modificar el término “Simulation training”, por “Virtual reality training”, para generar mayor especificidad asociada a tecnologías inmersivas (Modificado en Tabla 2. Palabras clave de investigación)
			Sugiere la inclusión puntual del término “realidad virtual”, por tratarse de la tecnología inmersiva más implementada y con mayores avances (Incluido en Tabla 2. Palabras clave de investigación)
			Validó las demás palabras
Daniel Garzón	Newrona (Colombia)	XR Simulations	Sugiere la inclusión puntual del término,

			por tratarse de una palabra de uso común en el sector tecnológico (Incluido en Tabla 2. Palabras clave de investigación)
			Validó las demás palabras
Jhony Guerra	Ezphera tech (Colombia)	Virtual reality training"	Sugiere nuevas palabras, basado en palabras comunes desde el sector tecnológico. (Incluidas en Tabla 2. Palabras clave de investigación).
		Immersive experiencies	Validó las demás palabras
		Mixed reality experiencies	
		Occupational risks	
Enrico Montaña	Inmersys (México)	Immersive experiencies	Sugiere la inclusión puntual del término, por tratarse de una palabra de uso común en el sector tecnológico. (Incluido en Tabla 2. Palabras clave de investigación)
			Validó las demás palabras

Fuente: Elaboración propia

Formulación de la Ecuación de Búsqueda

En esta fase se combinan las palabras clave y términos previamente validados por los expertos, en una ecuación que pueda ser utilizada en las bases de datos y motores de búsqueda seleccionados.

Para este caso se inicia con una ecuación general, utilizando los operadores boléanos “AND” y “OR”, los cuales facilitaron la combinación de los términos clave y sus sinónimos, previamente listados en la tabla 2, orientando así la búsqueda hacia información más pertinente y exacta para el propósito de este reporte. Como consecuencia de este procedimiento, se formuló la primera ecuación de búsqueda:

("Immersive Technologies" OR "Immersive reality" OR "Interactive Virtual Environments" OR "Virtual Environmets" OR "Immersive Virtual Model" OR "Extended reality technologies") AND ("Occupational Safety and Health" OR "Industrial Hygiene" OR "Occupational Safety" OR "Occupational Health" OR "Occupational Safety and Health Standards" OR "Risk prevention") AND ("Virtual reality training" OR "Interactive Learning" OR "Immersive Education" OR "VR training")

La aplicación de esta primera ecuación no arrojó resultados en las fuentes y motores de búsqueda seleccionados, lo que generó la necesidad de desarrollar múltiples combinaciones de palabras clave y sinónimos, las cuales fueron documentadas en el registro de búsqueda, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Bitácora de búsqueda.

TEMÁTICA USO DE LA TECNOLOGIA INMERSIVA EN EL CAMPO DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO EN COLOMBIA				
BITÁCORA DE BÚSQUEDA				
Fecha	Base de datos	Período de búsqueda	Ecuación	Resultados
2/08/2024	SCOPUS	2019-2023	TITLE-ABS-KEY (((Immersive Technologies OR "Immersive reality" OR "xrd simulations" OR "mixed reality experiences") AND ("Occupational Safety and Health" OR "Occupational Health"))))	17

5/08/2024	CARROT2	2019-2023	((Immersive Technologies OR "Immersive reality" OR "XR Simulations" OR "Mixed reality experiences") AND ("Occupational Safety and Health" OR "Occupational Health"))	97
6/09/2024	Google Patents	2019-2023	((Immersive Technologies OR "Immersive reality" OR "virtual reality" OR "augmented reality") AND ("Occupational Safety and Health" OR "Occupational Health"))	19

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la Información.

Tras la recopilación de información pertinente para esta investigación, se procede a su organización en una base de datos centralizada, lo que facilita su procesamiento, análisis y la selección de elementos significativos. Para ello, se lleva a cabo un análisis cualitativo mediante la técnica de análisis temático del contenido proveniente de las fuentes consultadas, lo que permite identificar aspectos relevantes a partir de entrevistas, artículos e informes publicados en esta fuente de información. Asimismo, se emplean métodos cuantitativos para realizar análisis bibliométricos y cienciométrico, utilizando herramientas proporcionadas por diversas bases de datos y el software VOS viewer, que permite la construcción y visualización de redes bibliométricas.

Fuente de Búsqueda: Scopus

En esta base de datos de revistas científicas se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda:

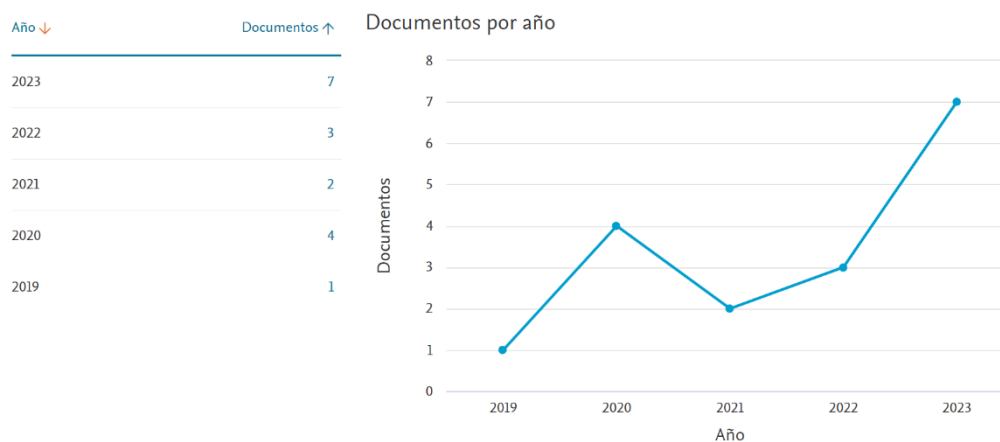
TITLE-ABS-KEY (((Immersive Technologies OR "Immersive reality" OR "xrd simulations" OR "mixed reality experiences") AND ("Occupational Safety and Health" OR "Occupational Health")))

Bajo esta ecuación y seleccionando la información del lapso del 2019 al 2023 se encuentran 17 resultados, los cuales son analizados inicialmente bajo las herramientas propias de

la base de datos generando un resumen de métricas sobre los documentos seleccionados, como la distribución de publicaciones por año, el análisis de las publicaciones por país y fuente de origen, así como el análisis de las publicaciones por tipo (artículo, conferencia, libro, etc), lo que facilita la identificación de tendencias en la producción científica analizada.

Figura 5

Análisis de las publicaciones por año.



Fuente: Scopus 2024

En la figura 5 se puede observar el análisis de las publicaciones por año, se identifican dos picos significativos en la producción científica. El primero, en el año 2020 el cual podría atribuirse al crecimiento tecnológico propio de la industria 4.0 y a la pandemia por el COVID 19, la cual aceleró la digitalización en diversas industrias. Este contexto propició un mayor uso de soluciones tecnológicas para la capacitación y el entrenamiento, convirtiendo estas herramientas en una opción viable para la formación a distancia, lo que a su vez generó un aumento en la investigación sobre su efectividad y aplicaciones. El segundo pico, más pronunciado, se registra en 2023, y según la consulta con expertos y el análisis de datos, este crecimiento puede atribuirse a múltiples factores:

-El desarrollo de innovaciones tecnológicas, especialmente en el ámbito de las tecnologías inmersivas, ha llevado a una mayor sofisticación y accesibilidad. La optimización de la calidad de las simulaciones y la disminución de los costos relacionados con estas tecnologías han promovido su adopción en contextos laborales, resultando en un incremento de las publicaciones que abordan su aplicación y eficacia.

-La colaboración entre diversas disciplinas ha crecido en el ámbito de las tecnologías inmersivas, involucrando áreas como la psicología, la ingeniería y la medicina. Esta interdisciplinariedad ha fomentado un mayor interés académico y científico, resultando en más publicaciones que exploran cómo estas tecnologías pueden ser aplicadas.

-Las regulaciones y normativas, las cuales son cada vez más estrictas en relación con seguridad y la salud en el trabajo, lo que ha llevado a las empresas a invertir en formación y capacitación. Esto ha creado una demanda por investigaciones que respalden el uso de tecnologías inmersivas como una herramienta eficaz para cumplir con estas normativas.

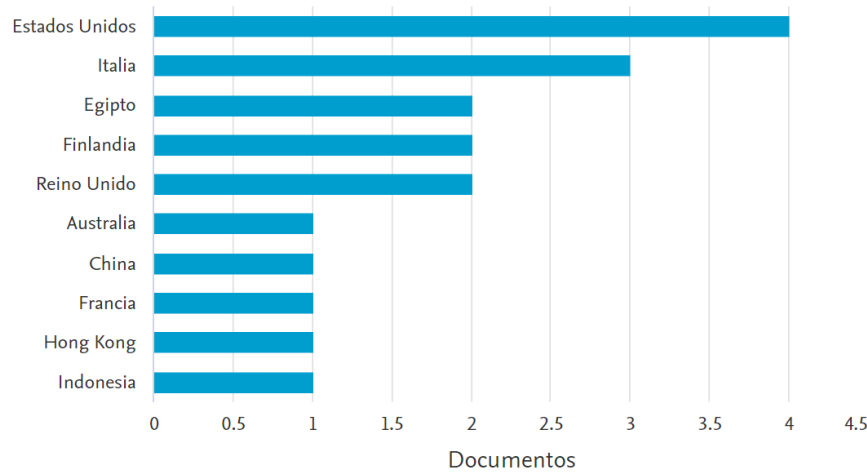
-La transformación de los paradigmas en la gestión de la seguridad y la salud laboral, junto con la incorporación del concepto de entornos de trabajo saludables, definido por la OMS como “aquel en el que tanto empleados como directivos participan en un proceso de mejora continua para fomentar y resguardar la salud, seguridad y bienestar en el ámbito laboral”, ha llevado a las organizaciones a explorar métodos más eficaces y experienciales para capacitar a su personal. Las tecnologías inmersivas, como la realidad virtual (VR), proporcionan simulaciones realistas que permiten a los trabajadores ensayar procedimientos de seguridad sin enfrentar altos riesgos, lo que ha acelerado su implementación y, en consecuencia, la investigación en este ámbito.

Figura 6

Análisis de las publicaciones por país de origen

Documentos por país o territorio

Compare los recuentos de documentos de hasta 15 países o territorios.



Fuente: Scopus 2024

En la figura 6, se presenta el análisis de las publicaciones según el país de origen, se evidencia una dispersión de las publicaciones a través de los continentes, destacando a países europeos como Italia, Finlandia y Francia como los más representativos. A nivel individual, se nota un aumento en las publicaciones provenientes de Estados Unidos, lo cual podría estar vinculado a su posición de liderazgo en investigación, desarrollo y adopción de tecnologías, además de contar con instituciones académicas y empresas prominentes en este ámbito. Es relevante señalar que una de las publicaciones proviene de Brasil, lo cual, según los especialistas entrevistados, está vinculado al aumento en la adopción de estas tecnologías en Centro y Suramérica, particularmente en naciones como México, Brasil, Argentina y Colombia. La reducción de los costos de los visores y los acuerdos comerciales con Estados Unidos favorecen

la importación de equipos, lo que representa una oportunidad potencial para el surgimiento de empresas que promuevan su utilización, resultando en una mayor aplicabilidad y generación de conocimiento.

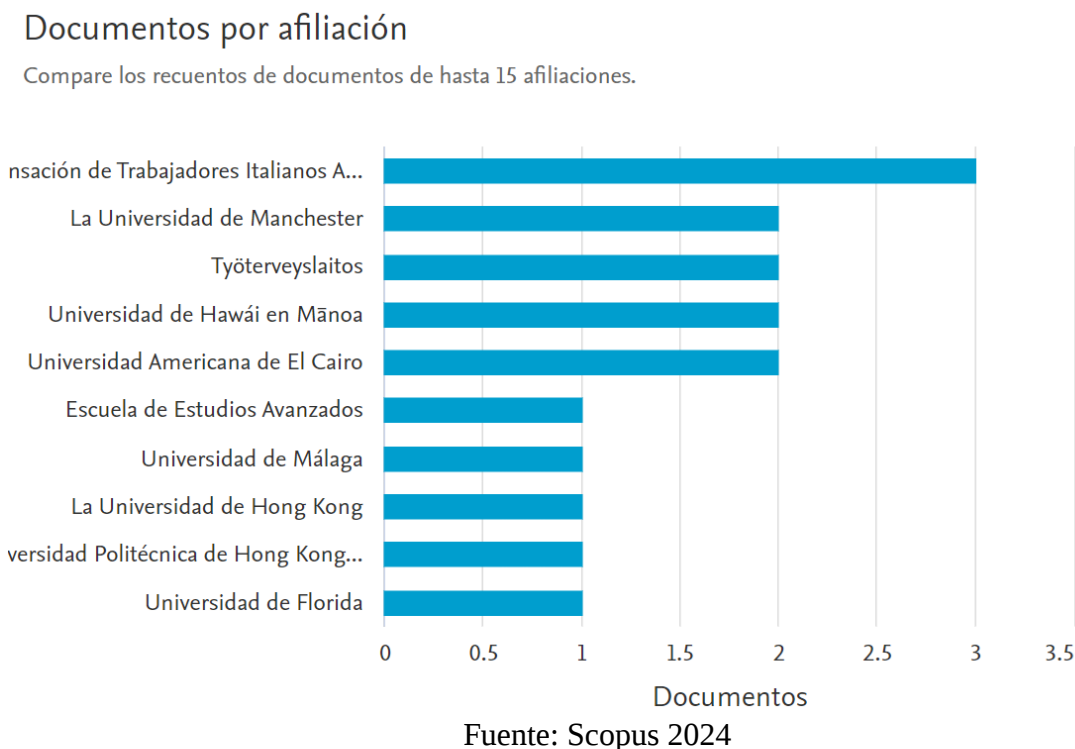
Actualmente, se están promoviendo políticas públicas que actúan como catalizadores en la transformación digital y por ende en la generación de conocimiento, estableciendo objetivos estratégicos para la digitalización de empresas y la sociedad. En Europa, se ha implementado "La estrategia digital de la UE" (Decisión (UE) 2022/2481 Del Parlamento Europeo y Del Consejo de 14 de Diciembre de 2022 Por La Que Se Establece El Programa Estratégico de La Década Digital Para 2030., 2022) establece un programa estratégico con el fin de fomentar la transformación digital empresarial y asegurar una economía digital equitativa y competitiva, alineada con el objetivo de alcanzar una Europa climáticamente neutra para 2050.

Recientemente, se ha adoptado una estrategia sobre Web 4.0 y mundos virtuales, orientada a guiar la próxima transición tecnológica y a garantizar un entorno digital abierto, seguro, confiable, justo e inclusivo para los ciudadanos, empresas y administraciones públicas de la Unión Europea. Esta estrategia permitirá que la cuarta generación de Internet (Web 4.0) facilite una mayor integración entre los mundos físico y virtual, mejorando la comunicación y accesibilidad a través de dispositivos.

La combinación de estos marcos normativos con las subvenciones y fondos destinados a impulsar la investigación y desarrollo (I+D) en tecnologías emergentes, tanto en Europa como en los Estados Unidos, promueve la creación de proyectos que incorporan tecnologías inmersivas en los espacios laborales, lo que a su vez facilita su adopción y la posterior documentación mediante diversas publicaciones.

Figura 7

Análisis de las publicaciones por fuente que publica



En la figura 7, se presenta el análisis de las publicaciones por fuente, se identifican las entidades responsables de las 17 investigaciones realizadas sobre el tema de vigilancia entre 2019 y 2023. La Autoridad Italiana de Compensación de Trabajadores destaca con tres publicaciones, liderando así la investigación en este ámbito. Esta entidad, que representa a los trabajadores y se enfoca en la defensa de sus derechos laborales y condiciones de trabajo, ha mostrado un interés particular en difundir los resultados de la implementación de tecnologías de realidad virtual, aumentada y mixta en la capacitación de los trabajadores para mejorar la seguridad laboral.

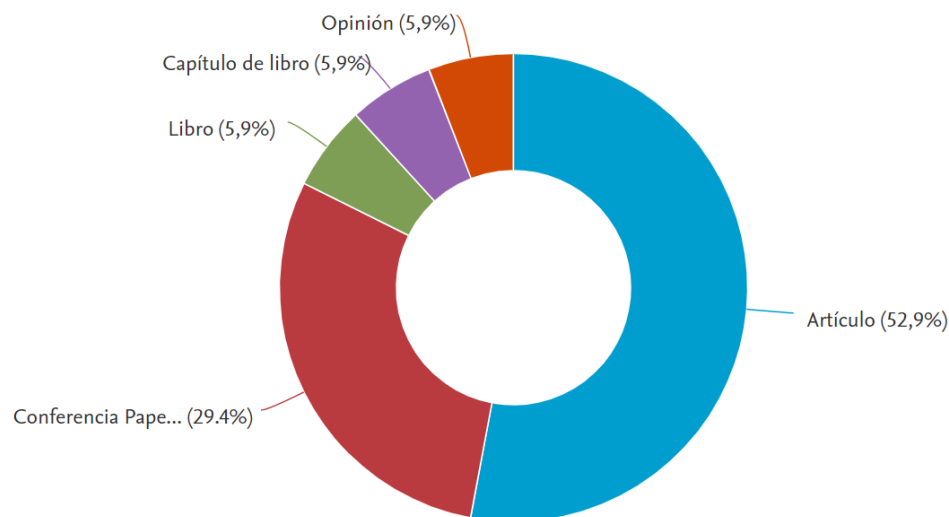
Las universidades desempeñan un papel crucial en la publicación científica sobre el uso de tecnologías inmersivas en el ámbito de la seguridad y la salud laboral, debido a su dedicación

a la investigación y al desarrollo del conocimiento. Estas instituciones, especialmente las situadas en países con alta producción científica, cuentan con laboratorios bien equipados y acceso a tecnologías avanzadas, lo que les permite llevar a cabo estudios a largo plazo y experimentar con nuevas aplicaciones. Además, al publicar sus resultados en revistas académicas especializadas, incrementan la visibilidad y el impacto de sus hallazgos, consolidando su liderazgo en el ámbito académico.

Figura 8

Análisis de las publicaciones por tipo.

Documentos por tipo



Fuente: Scopus 2024

El análisis presentado en la figura 8, examina las publicaciones según su tipo, revela un hallazgo significativo: el 53% corresponde artículos científicos, los cuales se enfocan

principalmente en su uso en materia de formación y entrenamiento en el contexto de la seguridad y salud en el trabajo. No obstante, se destaca que los países asiáticos están investigando la aplicación de tecnologías inmersivas en entornos productivos y ambientales, explorando la colaboración entre humanos y robots para optimizar la clasificación de residuos en la construcción y mejorar la seguridad laboral.

La gráfica indica que la mayoría de estos estudios provienen de instituciones académicas, las cuales están a la vanguardia en la formación de profesionales capacitados y ofrecen entornos propicios para la interdisciplinariedad necesaria en el progreso de estas tecnologías, lo que se refleja en un aumento de publicaciones. Es relevante señalar que las universidades desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de normativas debido a su capacidad para generar conocimiento, colaborar con entidades gubernamentales, formar profesionales especializados, participar activamente en discusiones políticas y realizar investigaciones aplicadas que abordan problemas reales. Su involucramiento asegura que las políticas sean informadas por evidencia científica y mejores prácticas, contribuyendo, en este caso a generar entornos de trabajo más seguros y saludables.

Estas sinergias entre el entorno académico, gubernamental y empresarial son fundamentales para el intercambio de conocimientos y recursos, promoviendo el desarrollo e implementación de soluciones innovadoras como es el caso de las tecnologías inmersivas.

Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico es un método que estudia el tamaño, crecimiento y distribución de los documentos científicos, así como la estructura y dinámica de los grupos que consumen y producen estos documentos y la información que contienen (González de Dios et al., 1997). Para el caso de este reporte, el análisis bibliométrico se realizará con ayuda de la herramienta

VOSviewer, la cual, permite visualizar redes de coocurrencia de términos claves extraídos del corpus de la literatura científica arrojada por la base de datos Scopus.

Frente al corpus de investigación aportado, la herramienta detecto 239 palabras clave, por lo que se estableció dos palabras clave como número mínimo de ocurrencias (10% sugerido frente al total), lo que genero un total de 59 palabras que cumplían con el umbral, sin embargo, el listado resultante debe ser depurado ya que pueden aparecer palabras similares escritas de diferente forma, por ejemplo: human, humans. Para este caso se deseleccionaron los siguientes términos, mostrados en la tabla 6.

Tabla 6

Listado de términos excluidos de la selección de palabras claves.

Término	Ocurrences
Adult	3
Article	2
Augmented reality	5
Building industry	5
Construction safety	2
Construction sectors	2
Controlled study	2
Falling	2
Female	3
Finland	2
Hazards	2
Human	7
Humans	5
Immersive	2
Immersive technolgies	4
Immersive virtual reality	2
Male	3
Mixed reality	5
Motivation	3
Occupational health	6
Occupational safety	5
Occupational safety and healths (osh)	8
Performance	2
Risk assessment	2
Safety and healths	2

Self concept	2
Self efficacy	2
Systematic review	2
Training	3
Virtual reality	6
Virtual reality modeling	2
Workers	3
Young adult	3

Fuente: VOSviewer

Como resultado se genera una clasificación por clústers temáticos de las palabras seleccionadas, clasificadas según se menciona en la tabla 7.

Tabla 7

Listado de clústers temáticos

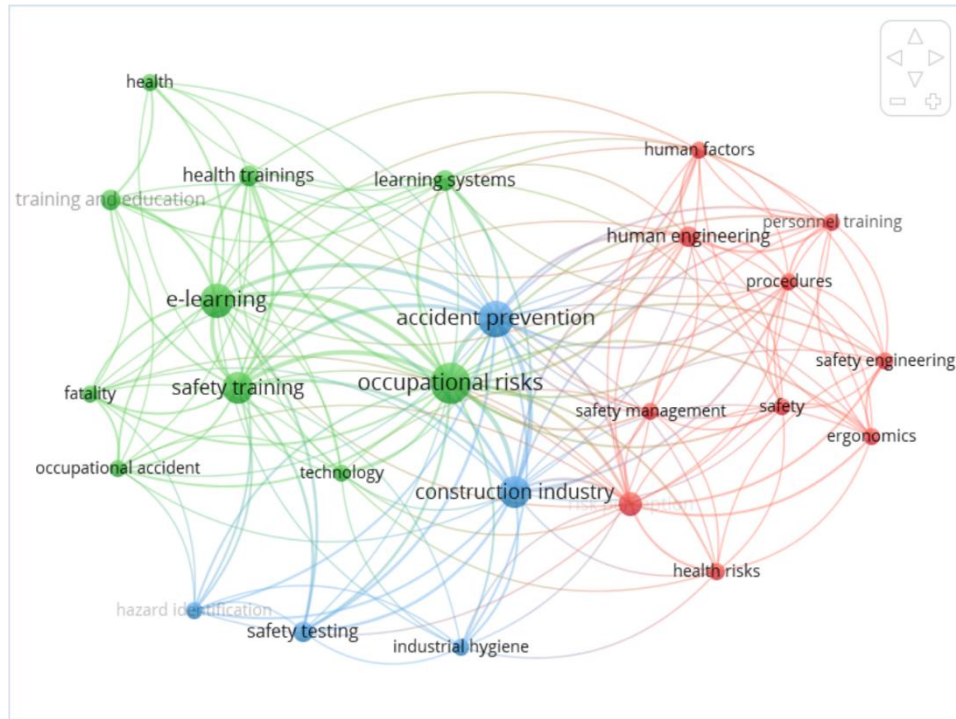
CLÚSTER 1 (10 ítems) Temática: Percepción de riesgo	CLÚSTER 2 (10 ítems) Temática: Usos de las tecnologías inmersivas	CLÚSTER 3 (5 ítems) Temática: Áreas de aplicación en SST
Ergonomics	E-learning	Accident prevention
Health risks	Fatality	Construction industry
Human engineering	Health	Hazard identification
Human factors	Health training	Industrial hygiene
Personnel training	Learning Systems	Safety testing
Procedures	Occupational accident	
Risk perception	Occupational risk	
Safety	Safety training	
Safety engineering	Technology	
Safety management	Training and Education	

Fuente: VOSviewer

Los resultados gráficos arrojados por la herramienta se observan a continuación:

Figura 9

Visualización de la red de palabras claves



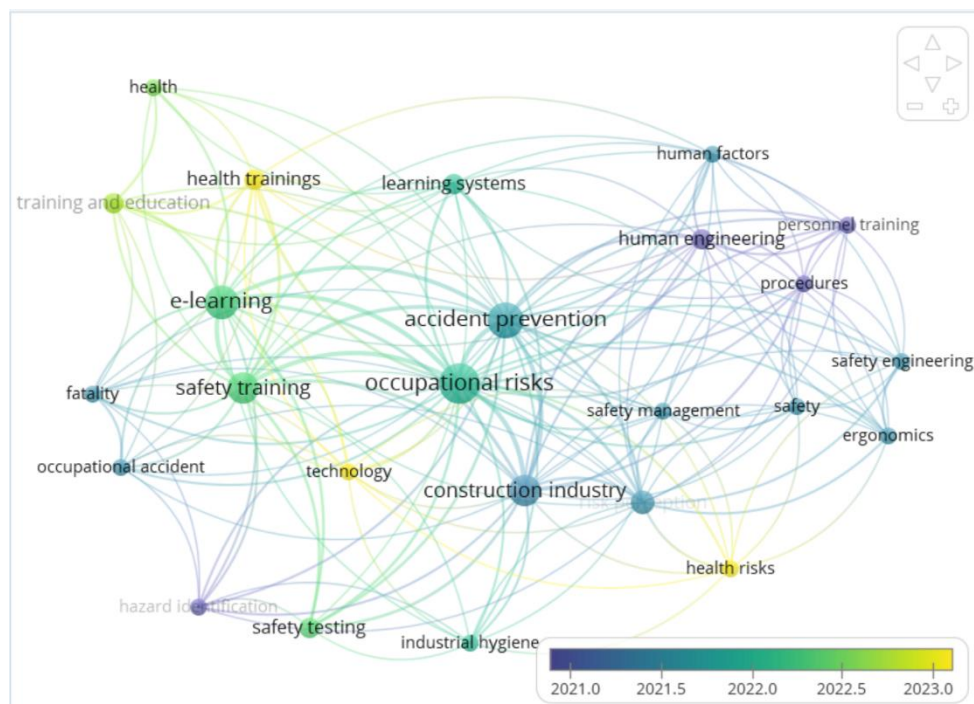
Fuente: VOSviewer

En la figura 9, que ilustra la red de palabras clave, se puede identificar que el clúster 1, representado en color rojo, hace referencia a la percepción del riesgo y su relación con temas como la ingeniería de los factores humanos, la ingeniería de la seguridad y la relación entre los riesgos vs. la conservación de la salud. El clúster 2, representado en color verde, se centra en la aplicación actual de estas tecnologías en SST, específicamente en el entrenamiento y la formación para la prevención de accidentes laborales. El clúster 3, representado en color azul, destaca las áreas específicas dentro de la SST donde se implementan tecnologías inmersivas, como la higiene industrial, la identificación de riesgos y la prevención de accidentes,

especialmente en el sector de la construcción, el cual presenta una elevada incidencia de siniestros laborales y se ha convertido en el objeto de muchos de los estudios realizados y publicados.

Figura 10

Visualización de la red de palabras claves por años de publicación.



Fuente: VOSviewer

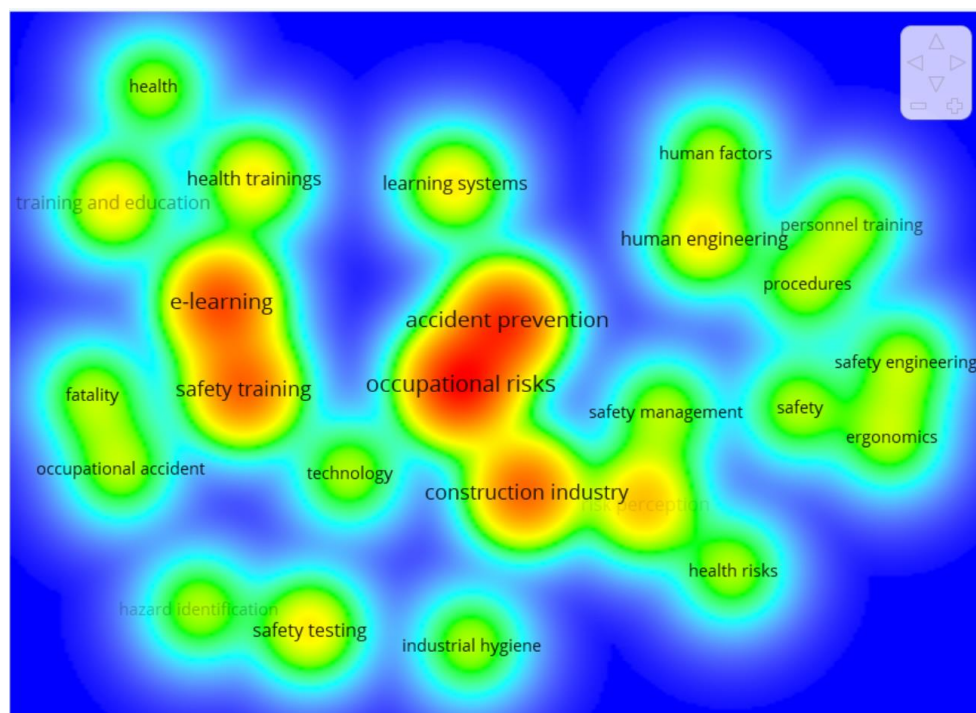
En la Fig. 10. se presenta una visualización de la red de palabras clave según su relación y los años de publicación, organizada por colores que van del morado (puntuación más baja) al verde y al amarillo (puntuación más alta). Se observa que los temas más investigados en el ámbito de la seguridad y salud laboral se centran en procedimientos, ingeniería de factores humanos y capacitación tradicional del personal. Por otro lado, las áreas vinculadas al uso de

tecnologías emergentes y su impacto en el control de riesgos, especialmente a través de la implementación de tecnologías inmersivas en entrenamiento y educación, están siendo objeto de estudio reciente, lo que podría correlacionarse con su creciente desarrollo, ya que el origen y la evolución de estas tecnologías se centraron inicialmente en la industria del entretenimiento, pero posteriormente se han identificado sus beneficios en otros espacios, como la educación, la industria y, por supuesto, en el ámbito de la seguridad y la salud laboral.

La herramienta, permite visualizar la densidad de las palabras clave (mapa de calor), en función de su importancia dentro del corpus de investigación. Cuanto mayor sea el peso de los elementos entre sí, más se acercará al color rojo, cuanto menor sea el peso, se tornará más azul.

Figura 11

Visualización de la red de palabras claves por densidad.



Fuente: VOSviewer

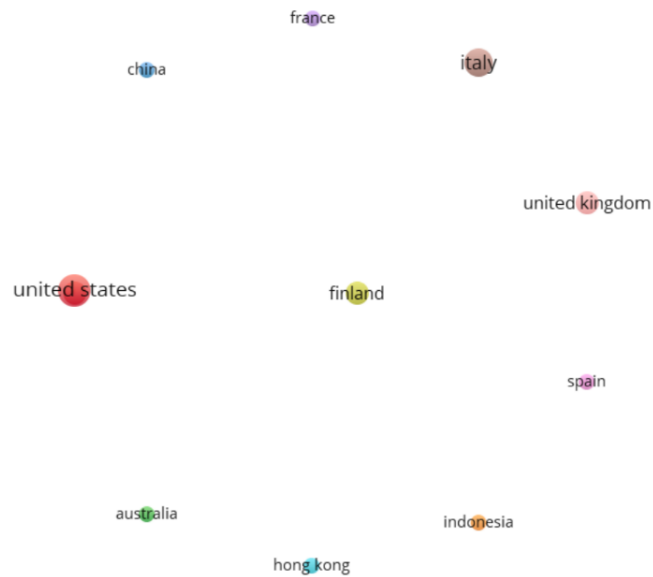
En la figura 11 se observa la visualización de la red de palabras claves por densidad, se observa una mayor fuerza temática relacionada con los términos: riesgos ocupacionales, prevención de accidentes, entrenamiento en seguridad, e-learning aplicado especialmente en la industria de la construcción, esto puede deberse a que los tres primeros términos están asociados a un campo consolidado, ya que la investigación sobre riesgos ocupacionales y prevención de accidentes ha sido un área analizada durante décadas, lo que ha generado una base sólida de literatura y prácticas. Las universidades y organizaciones han invertido tiempo y recursos en desarrollar estrategias para mitigar estos riesgos, lo que se traduce en un mayor número de publicaciones.

Con relación al e-learning, su implementación como método de capacitación ha crecido significativamente, derivado de la necesidad de implementar programas de formación continua, la cual es crucial para la prevención de accidentes laborales. Esto ha llevado a un aumento en las investigaciones sobre cómo estas plataformas pueden mejorar el entrenamiento en seguridad, creando un vínculo fuerte entre estas palabras clave.

A pesar del crecimiento del interés por las tecnologías inmersivas, su adopción ha sido más lenta debido a la necesidad de infraestructura adecuada, los costos asociados y el entrenamiento específico. Las tecnologías inmersivas son relativamente nuevas y requieren un cambio en el modelo de educación tradicional significativo para su implementación efectiva, lo que puede limitar temporalmente su representación en la literatura científica, si bien, muchas organizaciones ya han establecido una cultura centrada en la seguridad laboral y la prevención de accidentes la incorporación de tecnologías inmersivas aún está en desarrollo dentro de las estrategias organizacionales frente a la intervención de riesgos laborales.

Figura 12

Visualización por países de autoría en la investigación.



Fuente: VOSviewer

Frente a la cooperación en la investigación desarrollada entre países, representado en la Fig. 12, la herramienta permitió visualizar la ausencia de dicha cooperación, destacando que la mayoría de los estudios se han llevado a cabo de manera aislada, especialmente en Estados Unidos, que lidera en el desarrollo de nuevas tecnologías. Dichas ausencia de investigaciones colaborativas puede deberse a diversas razones, como las prioridades y enfoques particulares de cada nación, las cuales al no estar alineadas pueden no considerarse prioritarias, adicionalmente muchos países pueden preferir desarrollar soluciones adaptadas a su contexto local, lo que puede llevar a una menor disposición a colaborar en investigaciones que se centran en tecnologías inmersivas que podrían no ser directamente aplicables a su entorno específico. Asimismo, la

investigación en tecnologías emergentes puede interpretarse como una competencia entre naciones por el liderazgo tecnológico, lo que dificulta la colaboración y limita el progreso conjunto en áreas críticas como la seguridad y la salud laboral, no obstante, se encuentra evidencia de cooperación en el ámbito educativo, donde iniciativas como Google Expeditions han facilitado la realización de viajes virtuales y la exploración de conceptos complejos a través de experiencias interactivas. Otros frente de cooperación están dando entre diversas universidades y centros educativos, donde se vienen adelantando investigaciones que evalúan la efectividad de estas tecnologías en el aprendizaje, lo que se correlaciona con el análisis realizado previamente frente a las fuentes de las publicaciones en el tema.

Fuente de Búsqueda: CARROT2

Carrot2 es un motor de búsqueda de código abierto que organiza los resultados de las búsquedas en distintos grupos de documentos afines. Este sistema emplea algoritmos de agrupamiento para categorizar documentos relacionados en la web, asignándoles etiquetas con términos o frases claves, lo que permite crear una representación visual de la información recolectada y simplifica el análisis de grandes volúmenes de datos.

En este motor de búsqueda se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda:

((Immersive Technologies OR "Immersive reality" OR "XR Simulations" OR "Mixed reality experiences") AND ("Occupational Safety and Health" OR "Occupational Health"))

Para la búsqueda de la información se realizó una revisión y análisis de las opciones de algoritmo de agrupación en clústeres que ofrece este motor búsqueda, donde se consideró elementos como el tipo de agrupamiento, el método, las aplicaciones, ventajas y desventajas de cada uno, encontrándose lo siguiente:

Tabla 8

Resumen comparativo algoritmos de agrupación utilizados en Carrot2

Algoritmo de agrupación Característica	K-means	STC (Suffix Tree Clustering)	Lingo
Tipo	Agrupamiento basado en centroides	Agrupamiento basado en sufijos	Análisis temático
Método	Minimización de distancias	Agrupación por similitud de sufijos	Análisis semántico
Aplicaciones	Segmentación general	Análisis textual	Extracción temática
Ventajas	Simplicidad: Es fácil de implementar y entender. Eficiencia: Funciona bien con grandes conjuntos de datos y puede ser rápido en comparación con otros métodos.	No requiere especificar k: Puede encontrar automáticamente la estructura subyacente en los datos. Eficaz para textos: Funciona bien con documentos y textos largos, lo que puede ser útil si el análisis incluye literatura científica extensa.	Identificación temática clara: Es excelente para extraer temas y relaciones semánticas entre documentos. Adecuado para análisis cualitativo: Puede proporcionar insights valiosos sobre el contenido y contexto.
Desventajas	Elección del k: Requiere que se especifique el número de clústeres previamente, lo que puede ser un desafío si no hay conocimiento previo sobre los datos. Sensibilidad a outliers: Los valores atípicos pueden influir en los resultados.	Complejidad computacional: Puede ser más lento y requerir más recursos para conjuntos de datos grandes. Menos intuitivo: La interpretación de los resultados puede ser más complicada que con K-means.	Dependencia del lenguaje natural: Su eficacia puede verse afectada por la calidad del texto y el lenguaje utilizado. Requiere preprocesamiento: Necesita una buena limpieza y preparación de los datos textuales antes del análisis.

Fuente: Elaboración propia, 2024

Este motor de búsqueda presenta un total de 28 categorías o clústeres, organizados según la densidad de documentos encontrados. Al examinar las agrupaciones y documentos se evidencia que un porcentaje considerable se encuentra en varias categorías, como es el caso de los dos primeros clústeres, que corresponden a Juegos de realidad virtual inmersiva del año y Premios anuales D.I.C.E, con 15 y 12 documentos, respectivamente. Asimismo, se identifican otras categorías que están especialmente vinculadas al sector de los videojuegos razón por la cual, se realiza una sectorización de los clústeres que son de interés para esta investigación, obteniendo la selección consolidada en la tabla 9.

Tabla 9

Resumen comparativo algoritmos de agrupación utilizados en Carrot2

CLUSTERES	Número de documentos
Construcción	10
Para la formación en SST	9
Efectividad de	8
Realidad virtual inmersiva	7
Capacitación y educación	7
SST	7
Estudio	6
Realidad virtual RV	6
Capacitación en seguridad en la construcción	5
Humano	4
OSHA	3
Manipulación manual	2
Fatiga física	2
Otros temas	19

Fuente: Elaboración propia, 2024

En esta búsqueda se destaca un claro enfoque en la aplicación de tecnologías inmersivas para la formación y procesos de inducción de los trabajadores especialmente en el sector de la construcción derivado de su alto reporte de siniestros laborales. Asimismo, se identifica

duplicidad de documentos en diversos clústeres, lo que reduce el número de elementos a evaluar.

Por otra parte, un alto porcentaje de los documentos arrojados en esta búsqueda ya habían sido contemplados en el motor de búsqueda Scopus, sin embargo, se obtiene información del uso de realidad virtual en concordancia con otras tecnologías aplicadas al contexto laboral, entre ellos se destacan cuatro artículos el primero hace referencia al uso de la realidad virtual para el trabajo en alturas en la formación de trabajadores y sus resultados a corto plazo, el cual se trata de un estudio de origen colombiano donde se busca comparar dos métodos de entrenamiento activo con diferentes técnicas de instrucción, pero con el mismo contenido y objetivos de aprendizaje (Rey-Becerra et al., 2023) donde se concluyó que si bien el uso de RV tiene ventajas significativas, como mejoras en el rendimiento en un entorno de aprendizaje práctico y libre de riesgos, aun se requiere más estudios sobre el impacto del conocimiento impartido a su aplicación en el entorno laboral.

El segundo estudio, plantea el uso de un protocolo donde se comparó el uso de la Terapia Cognitiva Conductual Expositiva Estándar (TCC-E) y la TCC de Realidad Virtual Inmersiva (TCC-RV) para la Rehabilitación de Pacientes Afectados por Trastornos de Estrés Ocupacional, siendo este un campo de estudio en desarrollo para afecciones relacionadas con el factor de riesgo psicosocial (Buselli et al., 2023).

El tercer artículo, menciona el diseño de tecnologías de apoyo basadas en la interconexión de sistemas de captura de movimiento y realidad virtual para fomentar el rendimiento de las tareas de la fuerza laboral envejecida, considerando el aumento cada vez mayor de la esperanza de vida saludable y con ello el envejecimiento de la mano de obra, en este caso, lo que buscan los investigadores es implementar el uso de herramientas tecnológicas que puedan ayudar y mejorar el trabajo de esta población, para ello, estudiaron la aplicación del

sistema de captura de movimiento y realidad virtual aplicados a dos áreas diferentes: la formación, el aprendizaje y la comunicación de los trabajadores mayores, el análisis ergonómico y el diseño del puesto de trabajo para los operadores de edad avanzada. Al final, se propone un estudio piloto para aplicar esta tecnología en entornos reales de trabajo. (Alves et al., 2023)

El cuarto artículo aborda las capacidades de la realidad virtual para para generar entornos inmersivos que recreen situaciones de riesgo de apariencia realista pero simuladas para estudiar los procesos de toma de riesgos bajo cuatro variables: la valoración de riesgos en el mundo real, las interacciones corporales, la evaluación del sigilo y la medición fisiológica en tiempo real como elementos diferenciadores en la evaluación de la toma de riesgos (de-Juan-Ripoll et al., 2018)

Fuente de Búsqueda: Google Patents

Google Patents es un motor de búsqueda especializado que permite acceder a una amplia base de datos de patentes y solicitudes de patentes a nivel mundial. Actualmente cuenta con aproximadamente 120 millones de documentos paténtales provenientes de diversas fuentes, como la Oficina de Marcas y Patentes de Estados Unidos (USPTO) y la Oficina Europea de Patentes (EPO), entre otras. Ofrece opciones para realizar búsquedas avanzadas, permitiendo filtrar resultados por fecha, oficina de patentes, idioma y otros criterios relevantes, lo que es especialmente relevante en el contexto de esta investigación por tratarse del uso de una tecnología emergente.

En este motor de búsqueda se utilizó la siguiente ecuación:

((Immersive Technologies OR "Immersive reality" OR "virtual reality" OR "augmented reality") AND ("Occupational Safety and Health" OR "Occupational Health"))

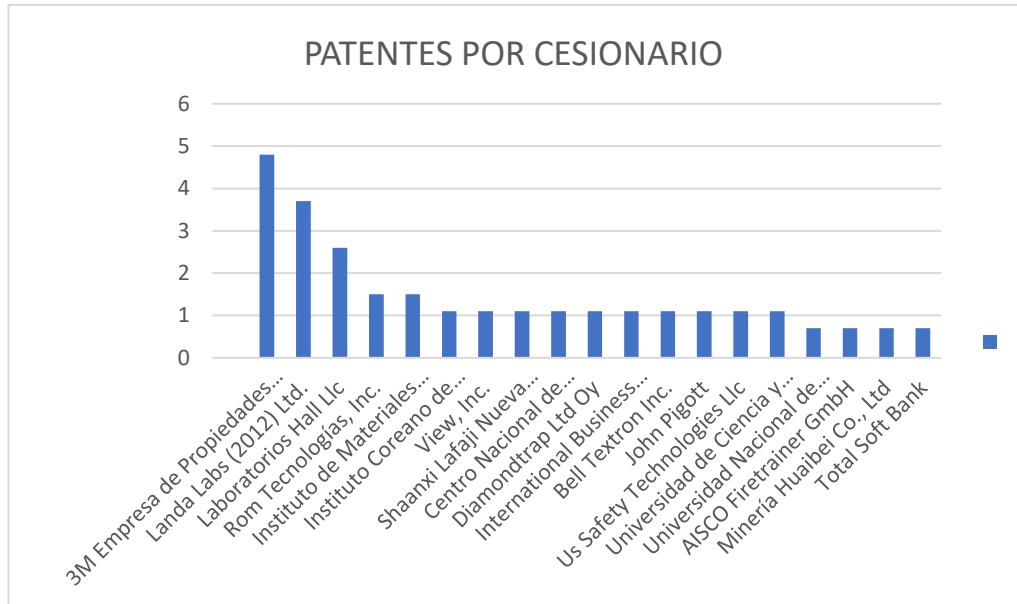
Se realiza una búsqueda en esta fuente de información parametrizada en el periodo de 2019 al 2023, sin aplicar los filtros adicionales que la herramienta proporciona, tales como idioma, oficina de patentes, estado, tipo y litigación. El objetivo es realizar una búsqueda más amplia que enriquezca el acervo científico y tecnológico en relación con el uso de tecnologías inmersivas en el ámbito de la seguridad y la salud laboral.

Se identificaron 267 resultados en esta investigación, lo que indica un incremento en las solicitudes de patentes vinculadas a tecnologías inmersivas durante el periodo analizado, representando el 27.9% del total de patentes registradas desde 1969, que asciende a 1010. Este aumento está relacionado con la adopción de tecnologías como la realidad virtual, aumentada y mixta en múltiples sectores, especialmente con la emergente consolidación del metaverso, un ámbito que muestra un considerable potencial de expansión, donde empresas líderes como Meta (Facebook), Apple y Microsoft están a la vanguardia. La herramienta clasifica los resultados en función de tres variables: cesionario, inventor y código de Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC). Para interpretar la información proporcionada, es fundamental comprender estas variables; en el caso del cesionario, se refiere a la persona o entidad que recibe la titularidad de un bien o derecho de otra persona o entidad. En términos legales y financieros, el cesionario puede ser el comprador de una propiedad o en este caso una empresa que adquiere una patente (G. Garcia, 2023). Por otro lado, el inventor según la Real Academia Española es una persona que descubre o encuentra algo nuevo, especialmente en el ámbito técnico o científico.

Para estos casos la herramienta menciona 19 cesionarios e inventores (Figura 14 y Figura 15), ubicados en diferentes países como Estados Unidos, Corea del Sur, Japón, China, Australia, Alemania, etc.

Figura 14

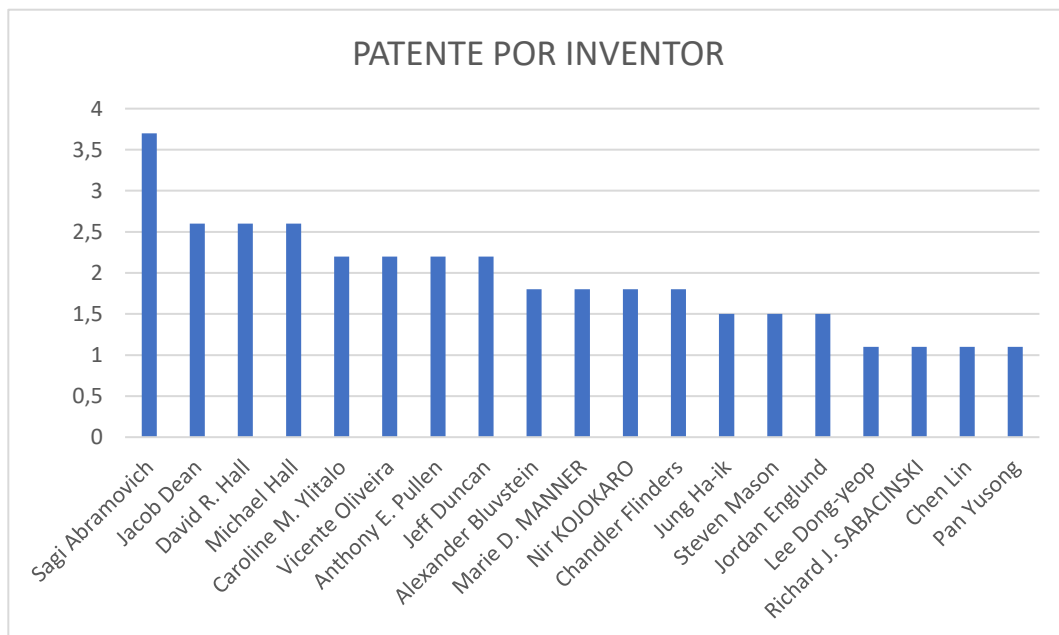
Análisis de patentes por cesionario



Fuente: Adaptado de Google Patents

Figura 15

Análisis de patentes por inventor



Fuente: Adaptado de Google Patents

Esta representación los países anteriormente mencionados puede estar relacionada con su alta inversión en investigación y desarrollo, lo que fomenta la innovación tecnológica. Por ejemplo, Estados Unidos y Corea del Sur son conocidos por sus altos niveles de gasto en I+D+i, lo que les permite desarrollar tecnologías avanzadas y vanguardistas que buscan ser salvaguardadas a través de su patentamiento.

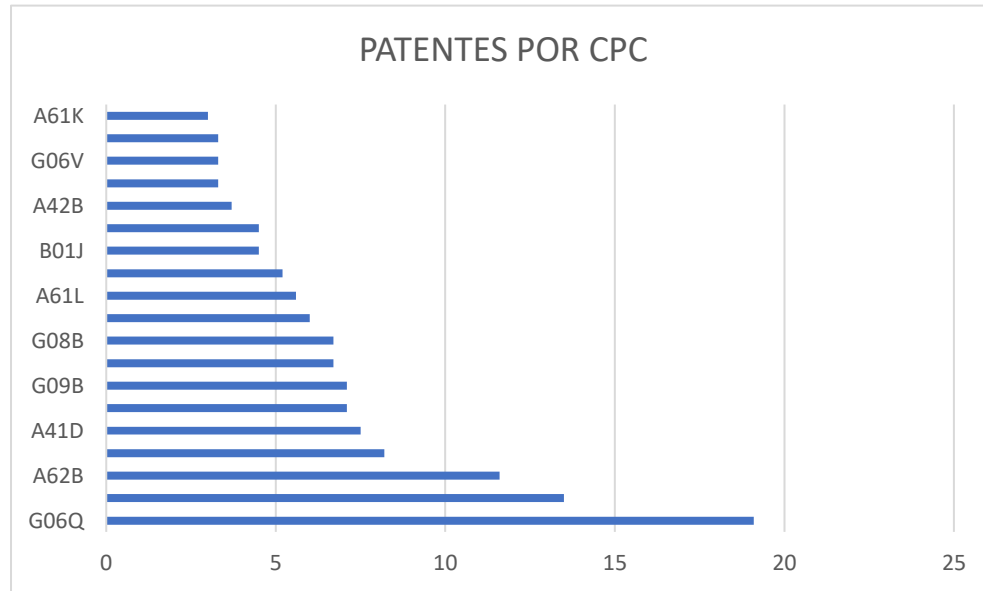
Adicionalmente la combinación de elementos como su avanzada infraestructura tecnológica, regulaciones favorables y una cultura empresarial innovadora otorgan a estos países una ventaja competitiva notable en el desarrollo y cesión de patentes relacionadas con tecnologías inmersivas. Otro factor que es importante mencionar, se relaciona con la existencia de ecosistemas robustos que incluyen universidades, centros de investigación y empresas tecnológicas lo que facilita la colaboración y la transferencia de conocimientos, impulsando el desarrollo de nuevas tecnologías.

Estas características no solo impulsan la innovación tecnológica, sino que también mejoran la seguridad y salud laboral a nivel global, dado que sus desarrollos generan aplicaciones de alto impacto, particularmente en lo relacionado con elementos de protección personal, inspecciones y formaciones.

La tercera variable suministrada por esta fuente de búsqueda corresponde a la CPC, el cual es un sistema de clasificación de patentes que incorpora las mejores prácticas de clasificación de los Estados Unidos y los sistemas europeos (Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia, 2024). Este enfoque minimiza la redundancia en el trabajo, optimizando la eficiencia de los procesos de concesión. En este contexto, los resultados se organizan mediante un algoritmo que identifica los códigos más relevantes de la CPC, facilitando así la delimitación del alcance de la búsqueda. (Figura 16).

Figura 16

Análisis de patentes por CPC



Fuente: Adaptado de Google Patents

Se observa que los códigos de clasificación que agrupan la información están principalmente vinculados a aplicaciones informáticas relacionadas con el procesamiento de datos y la educación (Códigos G06). En segundo lugar, se encuentran las patentes que abordan necesidades humanas, particularmente en el uso de tecnologías inmersivas en vestimenta o equipos de protección (Códigos A). Además, se identifican otros inventos relacionados con el transporte, el sector químico y un etiquetado general de nuevos desarrollos tecnológicos, especialmente aquellos dirigidos a la mitigación o adaptación al cambio climático (Códigos B, C, Y, respectivamente).

Al realizar una revisión detallada de los resultados de la búsqueda se observa que cesionarios como 3M, una firma estadounidense enfocada en la investigación, desarrollo,

fabricación y comercialización de tecnologías diversas, han registrado 14 patentes vinculadas a distintos elementos de protección personal, especialmente respiradores. Sin embargo, estas patentes no abordan específicamente la implementación de tecnologías inmersivas.

Se identifican diversas patentes que evidencian la implementación de tecnologías inmersivas en distintos contextos con aplicación en temas relacionados con la seguridad y la salud en el trabajo, como es el caso de John Pigott, quien posee tres patentes relacionadas con la visualización de la radiación dispersa en entornos médicos, ofreciendo sistemas y métodos que permiten la visualización en tiempo real de dicha radiación en instalaciones de salud (Piggot, 2022). Asimismo, se destacan dos patentes registradas en Alemania que proponen un sistema de entrenamiento para la extinción de incendios, el cual incluye un método de capacitación y un dispositivo de localización que utiliza una pantalla para representar un incendio a escala real, empleando gafas de realidad virtual para mejorar la preparación ante tales situaciones (Streube, 2019). Otras menciones relevantes son las de Total Softbank Co., que incluye tres patentes sobre un sistema de formación virtual en seguridad industrial, abarcando contenidos de capacitación, edición de escenarios y un sistema de entrenamiento virtual para el uso de simuladores de grúa (Kwangtae et al., 2021). Por último, se menciona una patente que desarrolla un sistema capaz de generar automáticamente instrucciones para realizar tareas industriales mediante realidad aumentada, presentando la información de manera visual y auditiva, lo que favorece la interacción entre el ser humano y la máquina (Ferguson. H et al., 2022)

Valorización de la información

Después de analizar la información obtenida se procede a generar respuestas a las cuestiones críticas de vigilancia que dieron lugar a esta investigación:

¿Cuáles tecnologías de realidad inmersiva son aplicables al campo de la seguridad y la salud en el trabajo?

Los actores involucrados en la regulación, control e implementación de la seguridad y la salud en el trabajo se enfrentan al reto de entender cómo las tendencias emergentes impactan y transforman los entornos laborales en la gestión de los riesgos empresariales. En este sentido, las tecnologías inmersivas se imponen como una solución innovadora, especialmente estudiada en el ámbito educativo, ya que permiten simular entornos seguros para el entrenamiento, facilitan la comprensión de procedimientos complejos y permiten una evaluación continua del rendimiento, sin embargo, enfrentan desafíos como costos, dependencia de dispositivos especializados, conocimiento altamente especializado para su diseño y desarrollo, necesidad de espacios adecuados para maximizar la efectividad de la experiencia e incluso superar la curva de aprendizaje de algunos usuarios que necesitan tiempo para familiarizarse con esta tecnología.

Si bien es cierto que, por sus características y beneficios, cualquiera de las tecnologías inmersivas—realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR) y realidad mixta (MR)—podría ser aplicada en el contexto de la seguridad y la salud en el trabajo (SST), al analizar la información de las fuentes de búsqueda, se observa un predominio en la aplicación de la realidad virtual. Esto es especialmente evidente en temas relacionados con el entrenamiento, la formación y los procesos de inducción. La realidad virtual facilita una mayor sensación de presencia, es decir, la sensación subjetiva de estar dentro de un entorno virtual. Esta inmersión se traduce en experiencias que pueden proporcionar una visión más cercana a la vida real en comparación con entornos de práctica convencionales, ya que crea un ambiente rico en señales sensoriales y, por lo tanto, ofrece una alta fidelidad del entorno representado. (Dan & Reiner, 2017)

Por otra parte, la realidad aumentada está comenzando a ser implementada en el contexto de la seguridad y salud en el trabajo, particularmente en el ámbito educativo. Esta tecnología permite la creación de "ilustraciones vivientes", facilitando la visualización de modelos tridimensionales en lugar de imágenes bidimensionales, lo que mejora la comprensión de conceptos clave en la prevención de riesgos laborales. Además, la realidad aumentada ofrece la posibilidad de proporcionar instrucciones en tiempo real desde ubicaciones remotas, lo que reduce costos de desplazamiento y el tiempo necesario para impartir estas instrucciones durante tareas complejas, siendo especialmente útil para guiar a técnicos en reparaciones complicadas al mostrar información crítica directamente sobre los equipos. (J. Chen et al., 2023)

En cuanto a la realidad mixta, su aplicación en el contexto de la SST presenta una escasez de evidencia y estudios sobre su implementación. No obstante, sus características permiten a los trabajadores interactuar con objetos virtuales en un entorno físico, facilitando el desarrollo de prototipos interactivos que son valiosos para la formación práctica. (Li et al., 2022). Además, podría promover el entrenamiento colaborativo entre equipos que, aunque estén físicamente distanciados, pueden interactuar en un entorno virtual compartido, simulando situaciones complejas que requieren la gestión simultánea de múltiples variables.

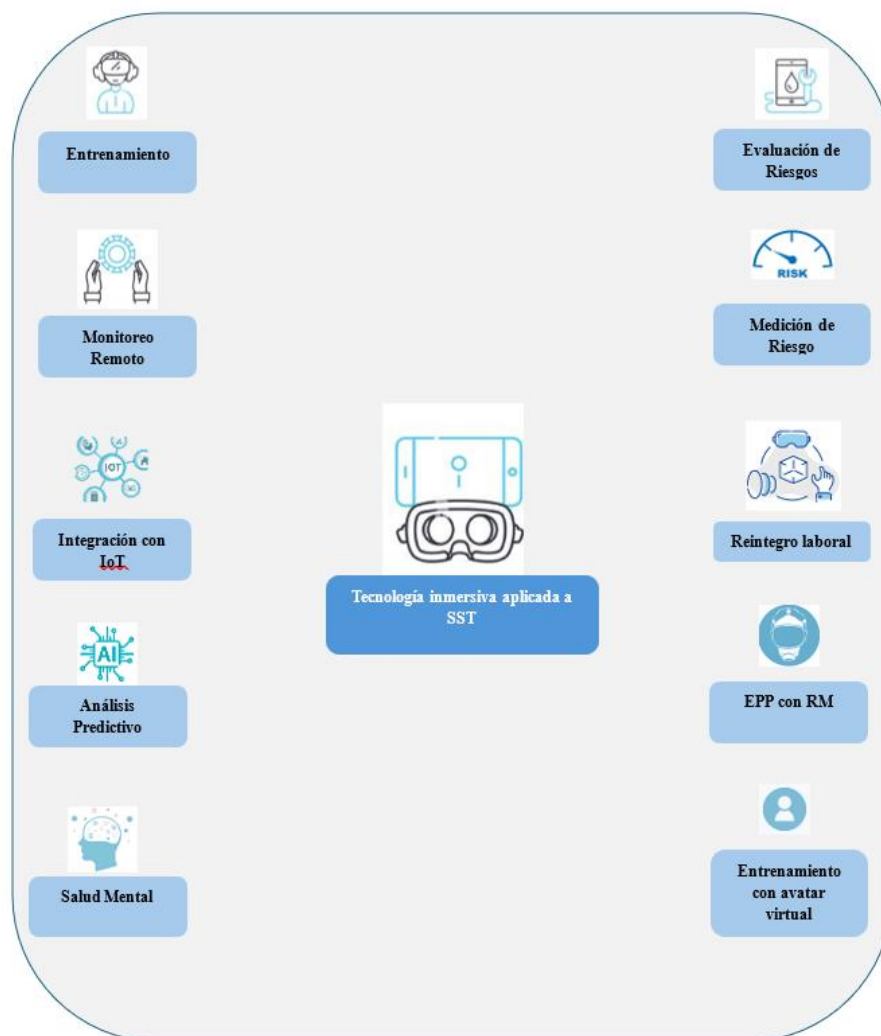
Para que la realidad aumentada y mixta se adopte de manera más amplia, es fundamental enfrentar desafíos relacionados con los costos, que afectan la disponibilidad de contenido actual. El desarrollo e implementación de estas tecnologías exige hardware y software especializados, lo que limita su acceso. Sin embargo, la democratización tecnológica avanza, y a medida que aumente la oferta de estas herramientas, será crucial realizar investigaciones que evidencien su efectividad en la mejora de la seguridad laboral y la eficiencia en comparación con métodos tradicionales. A pesar de los obstáculos, los beneficios potenciales podrían contrarrestar estos

desafíos al ofrecer entornos seguros para el aprendizaje, mejorar la retención del conocimiento y disminuir los errores humanos, posicionando a estas tecnologías como elementos clave en el futuro de la SST.

Derivado de las diferentes fuentes de consulta se identifican las siguientes aplicaciones de las tecnologías inmersivas en el contexto de la SST, consolidadas en la figura 17.

Figura 17

Aplicaciones de las tecnologías inmersivas en el contexto de la SST



Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 10

Entrenamiento en tareas de alto riesgo con uso de Realidad Virtual (RV), RA (RA) o Mixta (RM)

Consiste en la implementación de ambientes simulados a través de RV o usando elementos superpuestos que faciliten la inmersión del trabajador, especialmente aplicable en el entrenamiento en tareas de alto riesgo como trabajo en alturas, riesgo químico, riesgo eléctrico (Babalola et al., 2023a) (Elhakim, 2023)

Aplicación práctica:

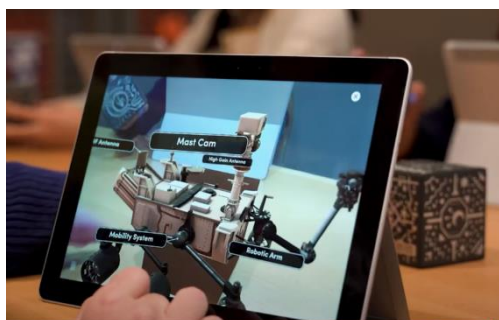
- **Manejo de energías peligrosas, bloqueo y etiquetado:**



Fuente: (<https://www.youtube.com/watch?v=Em4cm5NAo7A>)

- **Merge Cub y Merge EDU**

Plataforma de aprendizaje digital que permite la visualización de variados elementos con objetos 3D y simulaciones que se pueden tocar, sostener e interactuar.



Fuente: Merge Cube | AR / VR Aprendizaje y Creación

Patentes:

KR102565424B1 - Safety training system and method for augmented reality-based construction equipment - Google Patents.

Beneficios

-Facilita la adopción de conocimientos de manera vivencial, ofreciendo entornos más atractivos, participativos y con menor riesgo.

Tabla 11

Monitoreo Remoto

Permite realizar una guía remota al personal de mantenimiento o técnico durante reparaciones, facilitando la comunicación entre las empresas desarrolladoras de maquinaria y las compañías que las utilizan para sus procesos productivos.

Aplicación práctica:

Instrucciones accesibles al instante, precisas, aplicadas directamente sobre la realidad y con la posibilidad de tener las dos manos libres para actuar, mientras el operario es guiado paso a paso de forma independiente o con la colaboración en remoto de un técnico especializado. Instrucciones creadas con Vuforia Expert Capture.

Fuente: (<https://www.youtube.com/watch?v=4Mhzr5AFyzc>)



Patentes:

Sistema de capacitación en seguridad basado en realidad aumentada que puede proporcionar una capacitación tridimensional y realista a través de videos de realidad aumentada:

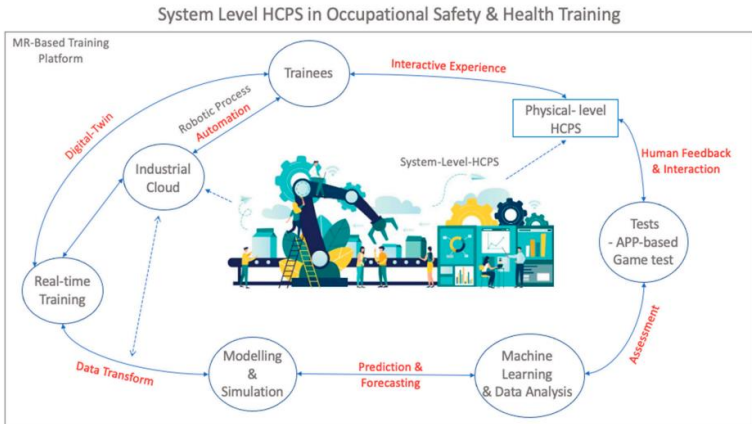
[CN110249379B - Method and system for industrial maintenance using virtual or augmented reality displays - Google Patents](#)

Beneficios

- Optimización de procesos de entrenamiento de los operadores reduciendo riesgo de accidentes
- Reducción del tiempo destinado a completar el mantenimiento

Tabla 12

Integración de IoT (Internet de las Cosas) para Monitoreo en Tiempo Real

Sensores y dispositivos conectados que recopilan datos en tiempo real sobre las condiciones laborales, como la calidad del aire, la temperatura, y el ruido, permitiendo una respuesta inmediata a posibles riesgos, que puedan ser utilizados como base para el entrenamiento del personal utilizando realidad mixta. Adicionalmente se evalúa su aplicación en elementos de protección personal.(Li et al., 2022)	Aplicación práctica: La Universidad Metropolitana de Hong Kong adelanta estudios sobre la implementación de una plataforma basada en realidad mixta hacia sistemas humanos-ciberfísicos con dispositivos portátiles IoT para la formación en seguridad y salud en el trabajo.  Fuente: https://doi.org/10.3390/app122312009 Patentes: <u>KR20240063084A - Smart, IoT safety equipment, helmet, vest, band, neckcam, ringcam, bodycam, tripod, CCTV - Google Patents</u>
--	---

Beneficios

- Estas dos tecnologías utilizadas de manera concomitante ofrecen capacidades de automatización y personalización
- Optimización de las tareas, reducción de errores y aumento de la eficiencia operativa

Tabla 13

Inteligencia Artificial (IA) para Análisis Predictivo

Integrar la IA para prever y prevenir accidentes mediante la identificación de patrones de riesgo. Al identificar patrones es posible generar acciones preventivas como formación, retroalimentación individualizada e intervenciones en el medio (Shayesteh et al., 2023)

Aplicación práctica:

Con la capacidad de la IA para imitar la inteligencia humana y de las tecnologías inmersivas para visualizar de manera dinámica el entorno las empresas pueden resolver problemas de manera segura en diferentes escenarios, hacer predicciones y crear experiencias inmersivas de entrenamiento.



Fuente:

https://www.linkedin.com/posts/ulrich-buckenlei_voyager-ai-spatialcomputing-ugcPost-7247916128990040064-6Nyi/?utm_source=share&utm_medium=member_ios

Patentes:

[USD856328S1 - Wearable artificial intelligence \(AI\) data processing, augmented reality, virtual reality, and mixed reality communication eyeglass including mobile phone and mobile computing via virtual touch screen gesture and eye tracking control and neuron command - Google Patents](#)

Beneficios

- La IA mejora la experiencia inmersiva al permitir el análisis de datos y el reconocimiento de patrones en tiempo real.
- Un chatbot de IA puede utilizar esta información para adaptar las respuestas y las recomendaciones, proporcionando una experiencia de RA altamente personalizada.

Tabla 14

Gestión Psicosocial y Salud Mental

Consiste en el desarrollo de programas específicos para abordar el estrés y la salud mental en el trabajo, integrando herramientas inmersivas que evocan espacios y ejercicios que faciliten la relajación y la calma (Buselli et al., 2023)

Aplicación práctica:

La aplicación AYRE (Ayuda para la regulación emocional) utiliza escenarios recreados en realidad virtual, lo cual simplifica la terapia, permitiendo la automatización de ciertos procesos como las técnicas de relajación.



Fuente: Laboratorio de Emociones, Salud y Ciberpsicología | Aplicaciones XR para tratamientos psicológicos.

Patentes:

CN110096145A - Psychological condition display methods and device based on mixed reality and neural network - Google Patents

Beneficios

- Análisis de datos en tiempo real para ajustar y personalizar el tratamiento y obtener resultados optimizados.
- Desarrollo de habilidades de afrontamiento que permite superar desafíos de una manera segura y controlada.

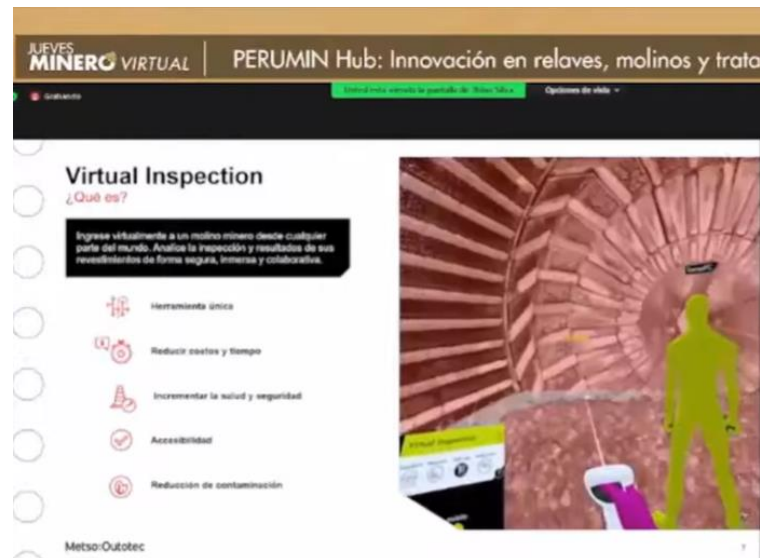
Tabla 15

Evaluación de Riesgos

Consiste en la creación de plataformas digitales que faciliten la evaluación y gestión de riesgos laborales, especialmente para pequeñas y medianas empresas, utilizando RM en los ambientes de trabajo (Piggot, 2022) (Babalola et al., 2023b).

Aplicación práctica:

El Instituto de Ingeniero de Minas del Peru desarrollo la herramienta Virtual Inspection, la cual permite inspeccionar de manera segura el revestimiento de los molinos que utiliza la industria. Combina el scan 3D, RV y comunicación colaborativa, sin desplazamientos innecesarios.



Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=XvY_z-rNryc

Patentes:

CN110246235B - Power distribution room on-site inspection method and system based on Hololens mixed reality technology - Google Patents

Beneficios

- Reducción de exposición directa del trabajador
- Le permite realizar mediciones al ambiente desde el exterior

Tabla 16

Medición de Percepción de Riesgos Individual

Se refiere a la implementación de instrumentos como electroencefalograma (EEG), la actividad electrodérmica (EDA) y la fotopletismografía (PPG), junto con un modelo predictivo basado en una red neuronal profunda (DNN) para evaluar la carga cognitiva durante el entrenamiento en ambientes simulados con tecnologías inmersivas (RV) en actividades de construcción con colaboración humano-robot. (Shayesteh et al., 2023)

Aplicación práctica:

Investigadores de la Universidad Estatal de Pensilvania (EEUU), proponen una plataforma de entrenamiento usando realidad virtual basada en avatares para el trabajo en equipo entre trabajadores y robots (HRC), donde se realizan mediciones multimodales de señales fisiológicas para evaluar el proceso de entrenamiento. Además se implementó una arquitectura de red neuronal profunda para identificar la carga cognitiva de los trabajadores como un factor crucial para el aprendizaje efectivo, y se vinculó con el desempeño de seguridad durante la tarea de HRC.

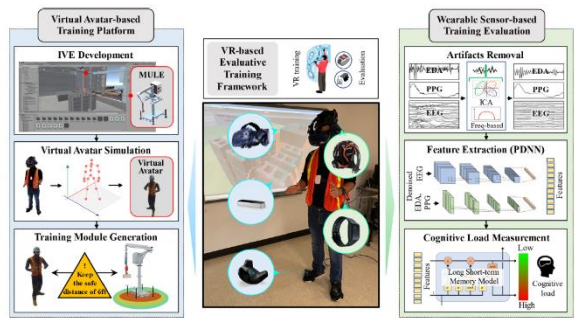


Fig. 1. Overview of the proposed framework.

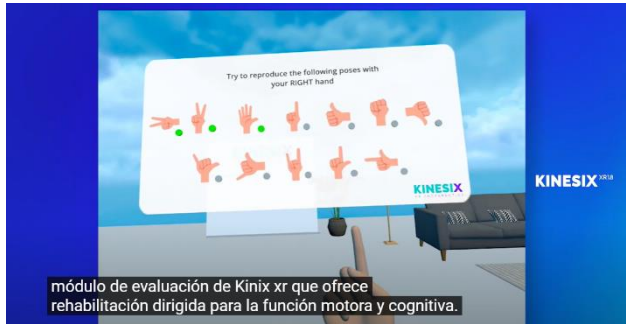
Fuente: (Shayesteh et al., 2023)

Beneficios

- El procedimiento experimental mostró que el entorno inmersivo simulado podría parecerse a escenarios reales de HRC de una manera segura y controlada. Por otra parte, se observó que los estímulos visuales y cognitivos incorporados podrían afectar las respuestas fisiológicas de los individuos en el entorno simulado.

Tabla 17

Entrenamiento para Facilitar el Reintegro Laboral Exitoso

Hace referencia al desarrollo de programas con RV que preparan a los empleados para su reintegro tras una ausencia prolongada, abordando aspectos físicos, motores e incluso psicológicos relacionados con la tarea a ejecutar. (Buselli et al., 2023; Calduch et al., 2020)	Aplicación práctica: Actualmente en el mercado se encuentran plataformas como Rehametrics y Kinesis XR que disponen de tareas o ejercicios adaptados a las necesidades de los pacientes a través de actividades de superación, que aumentan el grado de motivación, adherencia y generan mediciones cuantitativas de evolución clínica.  módulo de evaluación de Kinix xr que ofrece rehabilitación dirigida para la función motora y cognitiva. Fuente: 1.8 Kinesix XR - Try This Exciting New Hand Poses Exercise! Patentes: CN109350923B - Upper limb rehabilitation training system based on VR and multi-position sensors - Google Patents
---	---

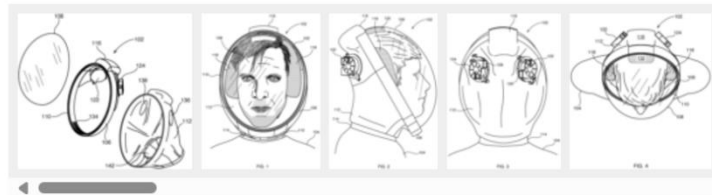
Beneficios

- Aumenta la motivación a través de herramientas gamificadas
- Permite ajustar la dificultad de los ejercicios
- Facilita el seguimiento objetivo de la evolución del paciente-trabajador, graba las sesiones y genera informes cuantitativos que son elementos importantes como soporte de rehabilitación y guía para definir opciones de reintegro laboral.
- Ofrece un refuerzo positivo durante las sesiones

Tabla 18

Elementos de Protección Personal (EPP) faciales integrando RA

Integración de AR para	Patente:
proporcionar instrucciones sobre el uso correcto e instrucciones sobre el manejo o mantenimiento en tareas en espacios confinados. (Hall et al., 2021)	Sistema de filtración de aire personal con aplicación inteligente, comprende un componente rígido y un componente flexible, que se combinan para cubrir la boca y las fosas nasales del usuario, con un filtro de entrada, un puerto de escape y un motor de aire. El sistema cuenta con una pantalla óptica montada en la cabeza (OHMD) que tiene la capacidad de reflejar imágenes proyectadas a una aplicación que se ejecuta en el dispositivo inteligente para controlar y monitorear el funcionamiento del sistema, usando realidad aumentada.



Fuente:

[US12075874B2 - Sistema de filtración de aire personal con aplicación inteligente - Patentes de Google](#)

Beneficios

- La RA puede facilitar la capacitación sobre el uso adecuado del sistema de filtración en tiempo real
- Los trabajadores pueden recibir información en tiempo real sobre la calidad del aire y los riesgos asociados, mejorando su capacidad para actuar ante situaciones de riesgo.

Tabla 19

Entrenamiento con Avatar Virtual

Este desarrollo busca hacer frente al creciente uso de robots colaborativos, utilizando tecnología inmersiva conjunta para el entrenamiento con avatares virtuales para disminuir el riesgo de accidente en los entornos industriales. (Chen et al., 2023).

Aplicación práctica:

Aunque es necesario contar con mejores alternativas de hardware de experiencias y contenidos inmersivos, se espera que a corto plazo se pueda contar con interacciones inmersivas en entornos dinámicos usando realidad mixta con avatares virtuales que guíen los procesos y brinden información en tiempo real, teniendo aplicación en diferentes campos entre ellos la SST.

Augmented Reality-Enabled Human-Robot Collaboration for Construction Waste Sorting

By Soham Nandi
Reviewed by Sujith Cheriyedath, M.Sc. Oct 19 2023

In a recent research article published in the *Journal of Environmental Management*, the authors proposed the integration of *Augmented Reality* in Human-Robot Collaboration (AR-HRC) to automate the process of construction waste sorting (CWS) and decrease risks to manual workers.



Fuente: Colaboración humano-robot habilitada para la realidad aumentada para la clasificación de residuos de construcción

Patentes:

ES2853550T3 - Entorno de realidad virtual tridimensional generado por ordenador para mejorar la memoria - Google Patents

Beneficios

- Interacción en vivo con retroalimentación sobre procesos y procedimientos que permitan entrenamiento en tareas laborales

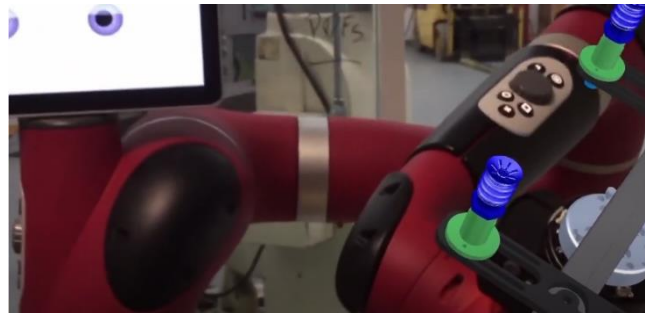
Tabla 20

Desarrollo de Prototipos interactivos con tecnología inmersiva

Consiste en el uso de este tipo de tecnología inmersiva para diseñar prototipos interactivos que maquinas o partes de máquinas industriales con la participación de diferentes actores como personal de mantenimiento, producción, ambiental y SST, lo que favorece el análisis global de las necesidades y control de riesgos de manera preventiva, lo que disminuye reprocesos y costos derivados.

Aplicación práctica:

ThingWorx Studio, es un entorno de modelado de aplicaciones que cubre todo el proceso de principio a fin. A través de un marcador digital es posible sobreponer elementos que se requieren incluir en una propuesta de diseño para recrear prototipos reales que permitan hacer comparaciones y validaciones en escala real, generando un espacio de análisis, prueba y alternativas antes de que se implemente el cambio.



Fuente:

https://www.youtube.com/watch?v=SArzb2X_-L4

Patentes:

[TW202123025A - System and method for content control in augmented reality and computer readable storage medium - Google Patents](#)

Beneficios

- Permite construir aplicaciones de forma fácil e intuitiva ayudando a la toma de acciones preventivas durante las etapas de diseño

¿Se cuenta con evidencia que valide la aplicabilidad y resultados del uso de las tecnologías inmersivas en la reducción de indicadores críticos en materia de seguridad y salud en el trabajo?

Los estudios adelantados donde se aplican tecnologías inmersivas están enfocados principalmente en la formación y educación en SST en diversas industrias, principalmente en la construcción, el transporte, la minería y la atención médica. Estas investigaciones abordan temas específicos como la respuesta a incendios, caídas, riesgos eléctricos y químicos, con el objetivo de prevenir o disminuir lesiones, enfermedades y muertes, observándose beneficios significativos en la retención de conceptos en comparación con métodos de formación convencionales (Babalola et al., 2023)

En las revisiones sistemáticas, se destaca que el sector de la construcción ha sido el más documentado en cuanto a intervenciones con tecnologías inmersivas, dado su alto índice de siniestralidad. Aunque se reconoce la capacitación como un factor esencial para promover un entorno laboral seguro y saludable, existe una falta de comprensión completa sobre el papel y potencial de estas tecnologías en este sector. La literatura actual no proporciona un panorama claro debido a la diversidad y amplitud de los estudios realizados (Babalola et al., 2023). Adicionalmente, los mismos autores sugieren que es necesario realizar más investigaciones para comparar la efectividad de las tecnologías inmersivas para la formación en salud ocupacional comparada con los métodos convencionales de formación.

Por otra parte se observa una tendencia hacia la mejora de la experiencia práctica y el rendimiento a través de la RV, sin embargo, subraya que es crucial considerar los aspectos conductuales relacionados con la psicología del aprendizaje humano para su eficaz implementación. Además señala que referentes internacionales como la OSHA (Occupational

Safety and Health Administration) aun no contemplan la educación inmersiva dentro de sus modelos de formación. (Abotaleb et al., 2023)

En un estudio controlado aleatorio en Finlandia, se evaluó un programa de capacitación en seguridad basado en RV frente a un programa participativo tradicional. Los resultados mostraron que el uso de RV tuvo un impacto positivo mayor en motivación, autoeficacia y desempeño en seguridad autoinformado (Nykänen et al., 2020), sin embargo, refieren la necesidad de realizar estudios que permitan medir el impacto en niveles de gestión en materia de seguridad y salud en el trabajo.

Por su parte, Elhakim, con apoyo de la Institución de Seguridad y Salud Ocupacional (IOSH) promueven el uso de las tecnologías de realidad virtual semiinmersivas, centradas en promover las habilidades de reconocimiento y mitigación de peligros, para lo cual, desarrollaron una experiencia de RV basada principalmente en los peligros asociados a caídas, golpes, resbalones. La comparación del rendimiento entre estudiantes universitarios que participaron en esta capacitación y aquellos que no lo hicieron mostró resultados estadísticamente significativos, especialmente en comprensión y visualización de riesgos. (Elhakim, 2023)

Así mismo, en la conferencia internacional de Metodologías y Sistemas Inteligentes para el Aprendizaje Mejorado por la Tecnología, adelantada en septiembre del 2023, se planteó que las estructuras de conocimiento mejoradas por la tecnología tienen un papel experiencial que afecta y cambia las estructuras relacionales, cognitivas y emocionales, por lo que su papel como mediadoras del aprendizaje es fundamental en la producción del conocimiento actual. Bajo esta hipótesis, generaron una experiencia inmersiva frente al fenómeno de accidentes de tránsito, con énfasis en los trastornos del sueño, este estudio evidenció que las herramientas y métodos de

innovación son apreciados en el sector de la SST y confirma que pueden tener impactos positivos en la información, la educación y la formación (Pietrafesa et al., 2023)

En conclusión, aunque las tecnologías inmersivas presentan un alto potencial para mejorar la capacitación en SST, su uso se limita mayormente a la realidad virtual. Existen pocos estudios sobre realidad aumentada que demuestren mejoras significativas en formación en menos tiempo (Ahmed, 2019). La evidencia sobre realidad mixta es aún más escasa; sin embargo, algunos estudios han explorado su capacidad para influir en el comportamiento de riesgo (Hasanzadeh et al., 2020). Pese al creciente interés y las aplicaciones prometedoras, la evidencia empírica que respalda la eficacia de la formación en seguridad basada en la RV es bastante limitada (Gao et al., 2019). La mayoría de las investigaciones disponibles se enfocan más en variables como la motivación, la comprensión y la práctica, así como en percepciones subjetivas, en lugar de realizar mediciones cuantitativas específicas sobre el impacto en indicadores críticos como la frecuencia, la severidad o la tasa de accidentes laborales.

¿Existe evidencia que permita validar que el uso de las tecnologías inmersivas puede prevenir o disminuir la ocurrencia de accidentes de trabajo?

Las fuentes de información consultadas permiten concluir que el uso de tecnologías inmersivas, en particular la realidad virtual (RV), en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo (SST) se centra predominantemente en el entrenamiento, formación e inducción de los trabajadores. Las características del diseño en tres dimensiones (3D) de estas tecnologías están alineadas con los mecanismos de procesamiento cerebral humano, lo que implica que son más efectivas que los elementos diseñados en 2D. Esto se evidenció en un estudio publicado por la International Journal of Psychophysiology, donde se demostró que los participantes con

niveles bajos de capacidad espacial se beneficiaron significativamente al interactuar con mundos virtuales 3D (Dan & Reiner, 2017)

Los avances recientes en la investigación sobre memoria indican que las experiencias de realidad virtual se memorizan con mayor intensidad que los eventos convencionales. A diferencia de las prácticas tradicionales, las experiencias inmersivas simulan la multimodalidad, vivacidad e inclusividad de situaciones reales (Kisker et al., 2021). Ejemplo de ello es el cuasiexperimento que comparó la capacitación en seguridad basada en RV con un enfoque tradicional basado en conferencias. Este estudio incluyó a 102 trabajadores de seis obras de construcción en Colombia. Durante el diseño del programa de formación, se consideraron los objetivos de aprendizaje, observaciones de centros de formación y normativas nacionales. Los resultados mostraron que ambos enfoques fueron efectivos para mejorar los resultados a corto plazo en pruebas de conocimiento y actitudes auto informadas. A largo plazo, se observó una mejora en la percepción del riesgo, comportamiento autoinformado y clima de seguridad. Sin embargo, los participantes que recibieron capacitación basada en RV obtuvieron resultados significativamente más altos en conocimiento y reportaron actitudes más positivas (como compromiso y motivación) en comparación con aquellos que participaron en la capacitación tradicional. (Rey-Becerra et al., 2023)

Estos hallazgos unidos a los reportados anteriormente sugieren que las tecnologías inmersivas como la realidad virtual, muestran resultados a corto plazo. No obstante, es fundamental realizar investigaciones adicionales para evaluar el impacto a largo plazo en la reducción de accidentes laborales.

En resumen, aunque hay indicios prometedores sobre la efectividad del uso de tecnologías inmersivas para mejorar el aprendizaje y las actitudes hacia la seguridad y la salud en

el trabajo, aún se requiere más investigación para establecer su capacidad específica para prevenir o disminuir la ocurrencia de accidentes laborales.

Comunicación de los resultados

Los resultados obtenidos de este análisis de vigilancia e inteligencia sobre la utilización de tecnologías inmersivas en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo (SST) tienen como objetivo proporcionar evidencias sobre la aplicación efectiva de estas tecnologías. Esto permitirá a las empresas colombianas tomar decisiones fundamentadas y obtener ventajas competitivas a través de una gestión eficiente de la información científica y tecnológica. A partir de la información recopilada, se propone la elaboración de un mapa de oportunidades, el cual será evaluado por tres expertos en tecnologías inmersivas.

Mapa de oportunidades

Un mapa de oportunidades es una herramienta visual que permite identificar y priorizar áreas donde se pueden implementar mejoras, innovaciones o nuevas iniciativas. (Escorsa et al., 1999) Este tipo de mapa ayuda a las organizaciones a visualizar las oportunidades en función de criterios específicos, como el impacto potencial y el tiempo requerido para su implementación. (Canada, 2016). En el ámbito de la vigilancia y la inteligencia, un mapa de oportunidades resulta especialmente valioso para identificar cómo y dónde las tecnologías emergentes, como las tecnologías inmersivas, pueden ser aplicadas para mejorar la seguridad y salud en el trabajo. Además, proporciona pautas que ayudan a los directivos a tomar decisiones más informadas, tanto en cuestiones complejas relacionadas con estrategias de crecimiento o uso de estas

tecnologías en otros ámbitos organizacionales a largo plazo, como en preocupaciones inmediatas sobre la viabilidad de invertir en nuevos elementos de control de riesgos laborales.

A través de esta herramienta se busca captar y contextualizar las capacidades e iniciativas actuales y futuras relacionadas con las tecnología inmersivas en el marco de la SST. Esto permitirá priorizar dichas iniciativas para determinar las oportunidades y el potencial que ofrecen, así como evaluar la viabilidad de su implementación.

En la tabla 21 se presentan de manera consolidada las oportunidades identificadas, fundamentadas en el análisis de patentes y estudios recientes las cuales fueron puestas a consideración de tres expertos en tecnologías inmersivas quienes las evaluaron bajo los criterios de impacto/tiempo y se consolidaron en el mapa de oportunidades plasmado en la figura 18, adicionalmente para la reunión con los expertos se plantearon dos preguntas orientadoras¹ y sus respuestas se incluyen en el anexo 1 de este documento.

Una vez listadas estas oportunidades se pasa a valorarlas bajo los siguientes criterios:

- **Impacto**, calificado en términos de bajo, mediano y alto y tiempo
- **Tiempo**, considerando si es de aplicación inmediata (hasta 6 meses), corto plazo (menor o igual a un año), mediano plazo (menor o igual a 3 años), largo plazo (3 años en adelante)

¹ Las preguntas orientadoras realizadas a los expertos se realizan con el fin de adentrar a los expertos en el objetivo de este ejercicio y posteriormente definir elementos básicos de las conclusiones y recomendaciones:

¿Cuáles consideras o reconoces que son las principales oportunidades que ofrecen las tecnologías inmersivas (realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta) en el contexto de la seguridad y salud en el trabajo actualmente y en un marco de 10 años?

¿Qué elementos consideras son facilitadores de su adopción en el contexto de la SST en Colombia?

Tabla 21

Valoración de las oportunidades del uso de tecnologías inmersivas en el contexto de SST en Colombia.

OPORTUNIDAD	DESCRIPCIÓN	MEDIO DE IDENTIFICACIÓN	IMPACTO	TIEMPO
Entrenamiento en tareas de alto riesgo con uso de Realidad Virtual (RV), RA (RA) o Mixta (RM)	Implementación de ambientes simulados a través de tecnologías inmersivas para entrenar al personal en tareas de alto riesgo como trabajo en alturas, riesgo químico, riesgo eléctrico, etc. Permite entrenamiento en la tarea sin riesgo de accidentes asociados	Revisión de estudios/ Patentes/ Entrevista a expertos	Mediano	Inmediato
Monitoreo Remoto con Realidad Aumentada (RA)	Uso de RA para guiar a técnicos durante reparaciones complejas desde ubicaciones remotas. Lo que facilita la comunicación entre las empresas desarrolladoras de maquinaria y las compañías que las utilizan para su procesos productivo.	Revisión de estudios/ Entrevista a expertos	Alto	Mediano
Desarrollo de Prototipos Interactivos con tecnología inmersiva	Uso de RM para crear prototipos interactivos que simulen condiciones laborales, por ejemplo maquinas o partes de máquinas industriales, favoreciendo la interdisciplinariedad	Entrevista a expertos	Mediano	Corto

	y la implementación de acciones preventivas de riesgos laborales.			
Integración de IoT (internet de las cosas) para Monitoreo en Tiempo Real	Uso de dispositivos IoT para monitorear condiciones laborales y salud de empleados en tiempo real. Especialmente importante en actividades laborales que impliquen riesgo por fatiga, turnos, etc.	Revisión de estudios	Alto	Mediano
Inteligencia Artificial para Análisis Predictivo	Integración de IA para prever y prevenir accidentes mediante la identificación de patrones de riesgo. Al identificar patrones es posible generar acciones preventivas como formación, retroalimentación individualizada, intervenciones en el medio.	Revisión de estudios/ Entrevista a expertos	Alto	Mediano
Gestión Psicosocial y Salud Mental	Desarrollo de programas específicos para abordar el estrés y la salud mental en el trabajo, integrando herramientas inmersivas, evocando espacios y ejercicios que faciliten la relajación y la calma.	Revisión de estudios/ Patentes/ Entrevista a expertos	Mediano	Inmediato
Evaluación de Riesgos	Creación de plataformas digitales que faciliten la	Revisión de estudios/ Entrevista a expertos	Alto	Corto

	evaluación y gestión de riesgos laborales, especialmente para pequeñas y medianas empresas, utilizando RM en los ambientes de trabajo			
Medición de Percepción de Riesgos Individual	Implementación de instrumentos de medición de patrones fisiológicos (movimientos visuales, pulsaciones, etc.) asociado a ambientes simulados con tecnologías inmersivas que permiten evaluar la percepción del riesgo a nivel individual, mejorando la conciencia situacional.	Revisión de estudios	Alto	Corto
Entrenamiento para Facilitar el Reintegro Laboral Exitoso	Desarrollo de programas con RV que preparen a los empleados para su reintegro tras una ausencia prolongada, abordando aspectos psicológicos y prácticos de la tarea a ejecutar.	Revisión de estudios/ Patentes/ Entrevista a expertos	Alto	Corto
Elementos de Protección Personal (EPP) faciales integrando tecnologías inmersivas	Integración de RM para proporcionar instrucciones sobre el uso correcto e instrucciones de manejo o mantenimiento en tareas en espacios confinados	Patentes	Alto	Largo

Entrenamiento Humano-Robot con Avatar Virtual	Frente al creciente uso de robots colaborativos, el entrenamiento con avatares virtuales disminuye el riesgo de accidente en los entornos industriales	Revisión de estudios	Mediano	Largo
---	--	----------------------	---------	-------

Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 18

Mapa de oportunidades tecnologías inmersivas en el contexto de la SST en Colombia



El mapa de oportunidades resalta diversas áreas donde las tecnologías inmersivas pueden aplicarse en el ámbito de la SST en Colombia, basándose en un análisis exhaustivo de múltiples fuentes. Estas oportunidades se dividen en categorías, así:

- **Oportunidades al alcance de la mano** pueden considerarse como victorias tempranas, ya que, mediante la utilización de las capacidades y recursos disponibles, es posible lograr resultados en un tiempo reducido, entre ellas encontramos el entrenamiento en tareas de alto riesgo con uso de Realidad Virtual (RV), RA (RA) o Mixta (RM), así como, el desarrollo de programas para la gestión psicosocial y la salud mental.
- **Oportunidades a corto plazo** representan desafíos que la empresa debe enfrentar y para los cuales es necesario prepararse y adaptarse. Se destacan, en primer lugar, su aplicación en la evaluación de riesgos laborales ambientales. En segundo lugar, se menciona la medición y percepción de riesgos a nivel individual, que se distingue de la anterior al centrarse en la evaluación de la percepción y adaptación al riesgo mediante patrones fisiológicos. Por último, se resalta su uso en los procesos de reintegro laboral, promoviendo un retorno exitoso a través de la creación de entornos que simulen las actividades que el trabajador desempeñará, lo que facilita un entrenamiento previo o simultáneo a la nueva función.
- **Oportunidades a mediano plazo** se refieren a las tecnologías que se encuentran en investigación y desarrollo, las cuales podrán ser implementadas en el futuro. Un ejemplo es el uso de monitoreo remoto mediante realidad aumentada, que facilitará el apoyo del personal en tareas de mantenimiento y en operaciones de alto riesgo. Asimismo, se contempla la creación de prototipos interactivos con tecnología inmersiva, que se aplicarán en el diseño de espacios laborales, maquinaria y flujos de trabajo,

contribuyendo a la prevención de riesgos. Además, se destaca la integración del Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo en tiempo real y/o la integración con inteligencia artificial para la elaboración de análisis predictivos, esenciales en la gestión de accidentes laborales.

- **Oportunidades a largo plazo** se entienden como los escenarios futuros deseados en el contexto de la SST, tal es el caso, de los entrenamientos humano-robot con avatar virtual, que podría aplicarse directamente frente a la prevención de accidentes en los entrenamientos del personal que laboran de la mano con robots colaborativos o directamente bajo la creación de avatares conectados a inteligencia artificial que bajo realidad mixta guíen el desarrollo de diferentes procesos industriales. Finalmente, se evidencia una oportunidad relacionada con el desarrollo de elementos de protección personal (EPP) faciales integrando tecnologías inmersivas que facilitarían el proceso de monitoreo, seguimiento y retroalimentación permanente frente al desarrollo de las tareas por parte de los colaboradores.

El empleo de estas tecnologías en el país se enfoca principalmente en la formación específica, especialmente a través de la realidad virtual (RV). En contraste, en países más desarrollados de Asia y Europa, se evidencia una aplicación más sofisticada de estas herramientas, integrándose con otras innovaciones propias de la industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA).

De acuerdo con la valoración de los expertos compilada en el anexo 1, se puede concluir que se observan múltiples beneficios de la implementación de tecnologías inmersivas en el ambiente industrial, puntualmente en SST ya que facilitan los procesos de entrenamiento bajo un

entorno seguro, lo que es crucial para minimizar riesgos laborales propios de las tareas de alto riesgo donde se requiere una adopción de habilidades prácticas lo que podría fomentar una cultura de seguridad laboral al permitir que los trabajadores se enfrenten a situaciones críticas sin el riesgo físico asociado.

Adicionalmente, el mapa de oportunidades destaca un consenso sobre las diversas y significativas posibilidades que ofrecen las tecnologías inmersivas, como la realidad virtual (RV), aumentada (AR) y mixta (RM) en el contexto de la seguridad y salud en el trabajo en Colombia revelando que a largo plazo la integración de estas tecnologías con inteligencia artificial y análisis de datos personalizará aún más el aprendizaje, adaptándose a las necesidades individuales de cada trabajador.

Es fundamental disponer de elementos y actores que promuevan la integración de estas tecnologías en los distintos sectores empresariales. Entre estos elementos se destacan la inversión en infraestructura tecnológica y la creación de programas educativos que fomenten la adopción de dichas tecnologías.

Otro elemento prioritario es la colaboración entre empresas tecnológicas, entidades gubernamentales y organizaciones dedicadas a la seguridad laboral quienes pueden crear un entorno propicio para la innovación. Esto es especialmente relevante en un país como Colombia, donde el sector Mypimes -micro, pequeña y mediana empresa- representa el 99.5% del tejido empresarial formal (González & Llanes, 2024). Estas empresas frecuentemente enfrentan limitaciones en recursos para implementar nuevas tecnologías, por lo que es crucial fomentar políticas públicas que estimulen la inversión en capacitación y tecnología para superar dichos obstáculos.

Finalmente, al analizar las oportunidades presentadas en figura 18, se evidencia que muchas de ellas tienen un alto impacto y un periodo de implementación relativamente breve. La integración de tecnologías inmersivas con estrategias organizacionales pertinentes tiene el potencial de revolucionar el ámbito de la SST en Colombia, propiciando ambientes laborales más seguros y saludables.

Conclusiones

La vigilancia e inteligencia en el entorno empresarial se consolidan como prácticas fundamentales para la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones en un contexto cada vez más globalizado, dinámico y altamente digital. A través de su implementación las empresas pueden detectar y monitorear información estratégica que es transformada en conocimiento útil, facilitando la toma de decisiones informadas, lo que reduce el nivel de incertidumbre y riesgo, al mismo tiempo que se capitalizan oportunidades para la innovación.

Esta investigación realizada bajo la metodología de vigilancia e inteligencia aplicada al uso de las tecnologías inmersivas en el contexto de la seguridad y la salud en el trabajo permite reconocer sus usos actuales a nivel global, con una mayor representatividad por parte de la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA), las cuales se vienen consolidando con una herramienta valiosa en el ámbito de la SST especialmente en el campo del entrenamiento, ya que permite simular entornos peligrosos y entrenar a los colaboradores en tareas de alto riesgo sin exponerlos a los peligros propios de estas actividades. Sin embargo, su implementación efectiva requiere un cambio significativo en el modelo educativo tradicional, lo que puede limitar su representación en la literatura científica. Aunque muchas organizaciones ya han establecido una cultura centrada en la seguridad laboral, la prevención de accidentes y la incorporación de tecnologías inmersivas aún está en desarrollo dentro de las estrategias organizacionales frente a la intervención de riesgos laborales.

Uno de los sectores con mayor acervo investigativo es la construcción, donde se ha concluido que la formación inadecuada o parcial contribuye a la mayoría de los accidentes en el sector, ya que los métodos tradicionales de formación son inefficientes para lograr los resultados

deseados, debido a la posición pasiva de los colaboradores, por lo que los nuevos enfoques de aprendizaje donde se dinamiza la práctica y se da lugar a la equivocación controlada, logran mejorar la comprensión y la respuesta crítica frente a los riesgos, siendo este uno de los elementos característicos de las tecnologías inmersivas.

A pesar de lo anterior, es necesario disponer de más recursos tecnológicos que faciliten, por ejemplo, la respuesta adecuada ante diversas situaciones. Los desarrollos actuales, aunque simulan entornos laborales auténticos, están restringidos a un contenido específico, y cualquier modificación requiere la intervención de personal especializado en hardware y software, lo que conlleva costos adicionales por cada solicitud de ajuste.

También es importante mencionar el creciente interés por las tecnologías inmersivas en Colombia, refleja una tendencia más común entre empresas con recursos financieros significativos. Ejemplo de ellos es Grupo Argos, quienes vienen utilizando la realidad virtual para la planificación y diseño de proyectos de construcción, permitiendo una planificación más segura y detallada, minimizando errores en la construcción buscan disminuir la presencia de accidentes laborales.(Moreno, 2024)

Sin embargo, las micro, pequeñas y medianas empresas, que constituyen alrededor del 99.5% del tejido universo empresarial formal colombiano, a menudo carecen de fondos necesarios para tales inversiones, ya que según los datos de la encuesta de desempeño empresarial del 2023 -EDE- adelantada por el DANE, estas empresas priorizan en la búsqueda de financiación para la compra de materias primas, gastos operacionales y de funcionamiento, además su acceso a crédito formal es más bajo que el de las empresas grandes.(González & Llanes, 2024) Las medianas y grandes empresas pueden tener más capacidad para adoptar

tecnologías avanzadas, pero pueden tornarse reacias debido a la falta de información sobre el retorno de inversión.

Para fomentar la adopción de estas tecnologías, es crucial desarrollar estrategias que impulsen la investigación, el desarrollo, la transferencia de conocimiento y la innovación tecnológica. Facilitar el acceso a estas herramientas permitirá que las empresas comprendan sus beneficios y evalúen su impacto en la accidentalidad laboral en relación con la inversión inicial. Es importante reconocer que la accidentalidad laboral es multicausal; por lo tanto, es necesario generar intervenciones e implementar controles no sólo centrados en el trabajador, sino también en las fuentes y medios laborales.

La matriz de oportunidades desarrollada en esta investigación refleja un abanico amplio donde las tecnologías inmersivas pueden contribuir significativamente a mejorar la seguridad laboral. A medida que estas tecnologías continúan evolucionando, su impacto promete ser aún más profundo, generando entornos laborales saludables.

Con respecto a los desafíos actuales, es fundamental considerar que la democratización tecnológica y el creciente desarrollo tecnológico permitirán un ingreso de nuevos servicios y estrategias en el corto y mediano plazo. Sin embargo, su adopción ha sido más lenta debido a limitaciones como la necesidad de infraestructura adecuada, costos asociados y entrenamiento específico. Para que las empresas colombianas puedan incorporar con éxito este tipo de tecnologías, es necesario establecer redes de cooperación que faciliten su acercamiento a diversos sectores productivos. Estas redes deben incluir colaboración intersectorial entre administradoras de riesgos laborales (ARL), empresas interesadas, academia y desarrolladores tecnológicos.

El Estado, representado en entidades como el Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, el Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación, juegan un papel crucial al promover oportunidades de financiamiento, formación y apoyos económicos vitales para lograr un acercamiento y posterior adopción, de estas tecnologías especialmente por parte de las empresas Mypimes. Por último, es imprescindible llevar a cabo investigaciones adicionales que comparen la efectividad de las tecnologías inmersivas en formación en salud ocupacional con métodos convencionales. A pesar de que se han observado resultados positivos a corto plazo en el comportamiento preventivo de los trabajadores, es crucial investigar el impacto a largo plazo para establecer su influencia en la prevención y disminución de accidentes laborales. Además, es necesario monitorear la evolución de la inteligencia artificial, el internet de las cosas y la robótica, dado que su integración con tecnologías inmersivas podría generar nuevas oportunidades en el ámbito de la SST.

Recomendaciones

La materialización de las oportunidades identificadas en la figura 18, que representa el mapa de oportunidades tecnologías inmersivas en el contexto de la SST en Colombia, demanda un enfoque holístico que facilite el acceso al conocimiento sobre estas tecnologías y sus beneficios potenciales. Es fundamental contar con la capacitación adecuada para su desarrollo e implementación, así como invertir en investigación e innovación aplicada. También se requiere la creación de programas académicos especializados en el diseño de tecnologías inmersivas, tanto a nivel de especialización como de diplomados. Además, es crucial establecer un marco normativo que favorezca especialmente a las Mypimes, incrementar la disponibilidad de personal calificado, implementar observatorios de tendencias empresariales, desarrollar eventos breves que ilustren casos de uso de estas tecnologías, establecer conexiones con proveedores tecnológicos o empresas de consultoría, y asignar recursos por parte de las empresas para la adopción de herramientas tecnológicas en el ámbito de la SST.

La colaboración entre todos los actores involucrados en la prevención de enfermedades laborales y accidentes de trabajo es fundamental para enfrentar los retos actuales y potenciar el efecto positivo en las organizaciones. Es importante tener en cuenta diversos aspectos, como:

- Inversión en investigación e innovación aplicada, si bien, la democratización tecnológica facilita el acceso a nuevas herramientas, es crucial que las empresas, especialmente las Mypimes cuenten con accesos a incentivos fiscales o programas estatales que apoyen el desarrollo de I+D+i. Estos programas deben enfocarse en la creación e implementación de proyectos de investigación que evalúen la efectividad de las tecnologías inmersivas en la disminución de accidentes laborales, incluyendo análisis que midan su impacto en indicadores de

frecuencia y severidad, así como en la mejora del bienestar del empleado, lo que podría justificar la inversión inicial en esta tecnología.

- Reconocimiento y capacitación: Es necesario desarrollar actividades que favorezcan el uso de estas tecnologías por parte de los tomadores de decisiones empresariales, para esto las entidades como las administradoras de riesgos laborales pueden colaborar para crear espacios que integren tecnologías inmersivas en sus programas de intervención, asegurando un acercamiento inicial que puede ser para formación y que posteriormente puede abrir espacios para otros usos, como los mencionados en la matriz de oportunidades.

- Marco Normativo: Siguiendo el ejemplo de países como España, Italia y Alemania es necesario establecer un marco legal que apoye el uso de tecnologías emergentes, esto incluye regulaciones sobre la seguridad laboral que integren el uso de herramientas digitales para mejorar las condiciones laborales, tal como se viene haciendo a través de la Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial mencionada anteriormente.

- Aumento en la oferta de personal experto: Es necesario que las instituciones educativas, en colaboración con el sector privado, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Ministerio de Educación, desarrollen programas de formación y especialización que respondan a las necesidades del mercado laboral. Esto incluye la creación de incentivos para atraer a jóvenes hacia carreras tecnológicas, así como la implementación de programas de capacitación continua para los profesionales existentes, especialmente en áreas críticas como tecnologías inmersivas, inteligencia artificial, computación cuántica, etc.

- Implementar observatorios de tendencias empresariales: Los cuales sirvan como insumo para el desarrollo de ejercicios de vigilancia e inteligencia que permitan a las empresas mantenerse actualizadas sobre las últimas tendencias y desarrollos tecnológicos con impacto en

la gestión de la SST. Estos ejercicios deben incluir la revisión de literatura científica, análisis de casos de éxito y monitoreo de patentes. Además, es recomendable involucrar a un equipo multidisciplinario que incluya expertos en tecnología, seguridad laboral y recursos humanos para asegurar una visión integral y aplicar los hallazgos en la práctica.

- Eventos cortos generales que expliquen casos de uso de este tipo de tecnologías:

A través de las administradoras de riesgos laborales y de entidades como Fasescolda y la ANDI, se podrían organizar eventos tipo webinars, talleres y congresos que presenten casos de éxito donde se hayan implementado tecnologías inmersivas en el ámbito de la SST, evidenciando resultados puntuales en los indicadores asociados a la intervención de riesgos laborales como la severidad y frecuencia de la accidentalidad, lo cual permita reconocer el verdadero impacto de su implementación. Estos eventos deben incluir demostraciones prácticas que permitan a los asistentes experimentar las herramientas en acción. Para maximizar el alcance, se puede considerar la colaboración con asociaciones industriales y universidades promoviendo así un enriquecedor intercambio de ideas.

- Contactos con proveedores tecnológicos o empresas de consultoría: Generar redes de colaboración con proveedores tecnológicos y empresas de consultoría especializadas en la implementación de tecnologías inmersivas. Esto puede incluir la organización de ferias tecnológicas o encuentros empresariales donde estas empresas puedan presentar sus soluciones y servicios. Además, se recomienda desarrollar alianzas estratégicas que faciliten el acceso a asesoramiento técnico y apoyo en la implementación, lo que puede ser especialmente beneficioso para las Mypimes.

- Destinación de recursos por parte de las empresas para la implementación de herramientas tecnológicas en el área de SST: Es crucial que las empresas destinen recursos

específicos para la implementación de tecnologías en sus procesos operativos y en SST, toda vez que generan un beneficio directo en la rentabilidad y sostenibilidad de las organizaciones, pues gracias a la prevención de enfermedades y accidentes se logran generar ahorros. (Moreno, 2024).

Estas recomendaciones están diseñadas para ayudar a las empresas a adoptar tecnologías inmersivas de manera efectiva, maximizando su impacto positivo en la seguridad y salud laboral mientras se optimizan los procesos operativos.

Bibliografía

- Abotaleb, I., Elhakim, Y., & El Rifaee, M. (2023). Un marco para integrar la realidad virtual en capacitaciones de seguridad estándar internacional. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Ahmed, S. (2019). A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 11(1), 1839–1852. <https://doi.org/doi:10.2478/otmcj-2018-0012>
- Alves, J., Lima, T., & Gaspar, P. (2023). Novel Design of Assistive Technologies Based on the Interconnection of Motion Capture and Virtual Reality Systems to Foster Task Performance of the Ageing Workforce. *Designs*, 7, 23. <https://doi.org/10.3390/designs7010023>
- AppMaster. (2024, October 5). *Las principales tendencias de AR/VR que están dando forma al futuro del desarrollo de aplicaciones*. AppMaster.
- Arias, W. (2024). *Análisis del uso de la tecnología inmersiva para el acceso a material didáctico aplicado en el proceso formativo de la educación básica secundaria*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Babalola, A., Manu, P., Cheung, C., Yunusa-Kaltungo, A., & Bartolo, P. (2023). A systematic review of the application of immersive technologies for safety and health management in the construction sector. *Journal of Safety Research*, 85, 66–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.01.007>
- Badri, A., Boudreau-Trudel, B., & Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109, 403–411. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2018.06.012>
- Bockholt, N. (2017, May). Realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta. y ¿Qué significa “inmersión” realmente? <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/es-es/>.
- Buselli, R., Corsi, M. ., Veltri, A., Marino, R., Caldi, F., Del Guerra, P., Guglielmi, G., Tanca, C., Paoli, M., Calabretta, V., Perretta, S., Foddìs, R., & Carrozzino, M. (2023). Comparison between Standard Expository Cognitive Behavioral Therapy (CBT-E) and Immersive Virtual Reality CBT (CBT-VR) for Rehabilitation of Patients Affected by Occupational Stress Disorders: Study Protocol. . *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20.
- Butron, E. (2020, February 20). Neuroseguridad laboral: neurociencias aplicadas en prevención de accidentes de trabajo y enfermedades laborales. *Revista Del Consejo Colombiano de Seguridad*, 6–10.
- Cahuasa, P. (2023, December 22). *Turismo inmersivo, una tendencia donde conjugan la tecnología y las experiencias*. Unifranz.
- Calduch, F., Jordan, A., Elvira, J., & Castillo, A. (2020). Aplicación de entornos virtuales en el proceso de rehabilitación funcional del hombro: valoración de la satisfacción del paciente. *Revista Española de Traumatología Laboral*, 3(2), 123–131.

- Canada, A. (2016). Mapas de oportunidades: representar gráficamente el futuro en tiempos de incertidumbre. *Business & Technology*.
- Certified Specialist Bureau. (2024, July 22). Panorama General de la Seguridad y Salud en el Trabajo. *Certified Specialist Bureau*.
- Chen, J., Fu, Y., Lu, W., & Pan, Y. (2023). Augmented reality-enabled human-robot collaboration to balance construction waste sorting efficiency and occupational safety and health. *Journal of Environmental Management*, 348, 119341.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119341>
- Chen, P. (2023). Así es como la tecnología inmersiva está transformando la educación, la sanidad y otros ámbitos. *World Economic Forum*.
- Colgate, J. (1996, April 26). Cobots: Robots for collaboration with human operators. *Actas de La Conferencia Internacional IEEE Sobre Robótica y Automatización*.
- Combata, N. (2023, October 20). *Colombia impulsa la seguridad laboral con tecnología inmersiva en la educación*. Canal 1.
- Crespo, M. (2015). Efectividad de la formación en seguridad y salud en el trabajo. *Scielo*, 18(3), 150–151.
- Dan, A., & Reiner, M. (2017). EEG-based cognitive load of processing events in 3D virtual worlds is lower than processing events in 2D displays. *International Journal of Psychophysiology*, 122, 75–84.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.08.013>
- Decisión 584 de 2004, Pub. L. No. Decisión 584 (2004).
- Decisión (UE) 2022/2481 Del Parlamento Europeo y Del Consejo de 14 de Diciembre de 2022 Por La Que Se Establece El Programa Estratégico de La Década Digital Para 2030., Pub. L. No. Decisión (UE) 2022/2481, PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA (2022).
- Decreto Único Reglamentario Del Sector Trabajo, Pub. L. No. Decreto 1072, Función Pública (2015).
- de-Juan-Ripoll, C., Soler-Domínguez, J. L., Guixeres, J., Contero, M., Álvarez Gutiérrez, N., & Alcañiz, M. (2018). Virtual Reality as a New Approach for Risk Taking Assessment. *Frontiers in Psychology*, 9.
<https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2018.02532>
- Dorrier, J. (2017). The next great computer interface is emerging—but it doesn't have a name yet. *Singularity Hub*.
- Elhakim, Y. et al. (2023). Integración de la Realidad Virtual en la Formación en Seguridad del IOSH. In Springer (Ed.), *Actas de la Conferencia Anual de la Sociedad Canadiense de Ingeniería Civil 2022. CSCE 2022. Apuntes de Ingeniería Civil*, vol 363. (pp. 197–213).
- Escorsa, P., Rodríguez, M., & Maspons, R. (1999). Mapas tecnológicos y oportunidades de mercado. In *Universidad Tecnológica de Cataluña*. Universidad Tecnológica de Cataluña.
https://doi.org/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1751645/mod_resource/content/1/Escorsa_et_al_1999.pdf
- ESGinnova Group. (2023, June 21). *Innovaciones y tecnologías en SST usadas hoy*. ESGinnova Group.

- Fasecolda-Federación de Aseguradores Colombianos. (2023). *Siniestralidad laboral -Primer semestre 2023* .
- Ferguson, H, Purushothama A., & Kritzlerr, M. (2022). *Método para generar instrucciones mediante la extracción de relaciones de componentes del modelo 3D*.
- Flores, J., Avalos, E., & Camarena, P. (2015, November 30). *USOS Y APLICACIONES DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA EDUCACIÓN*.
- Ford. Sala de Prensa. (2020, February 14). *Cómo Ford y Bosch utilizan la realidad virtual para formar a los técnicos del Mustang Mach-E totalmente eléctrico*. Ford. Sala de Prensa.
- Fundamental Surgery. (2024, August 24). *Cómo la tecnología está transformando la formación en cirugía*. Fundamental Surgery.
- Gani, A., Pickering, O., Ellis, C., Sabri, O., & Pucher, P. (2022). Impacto de la retroalimentación háptica en los resultados del quirúrgico: un ensayo controlado aleatorio de entrenamiento de realidad virtual inmersiva háptica versus no entrenamiento háptico. *Anales de Medicina y Cirugía*, 83.
- Gao, Y., Gonzalez, V. A., & Yiu, T. W. (2019). The effectiveness of traditional tools and computer-aided technologies for health and safety training in the construction sector: A systematic review. *Computers & Education*, 138, 101–115.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.05.003>
- Garcia, E. (2023). *¿Qué son las tecnologías inmersivas y qué aplicaciones tienen?* Blog OBS Business School.
- Garcia, G. (2023). *Cesionario: ¿Qué es y cual es su función en el ámbito juridico?* García, G.
<https://palabrasdelaley.com/>
- Gillis, A. (2021). *¿Qué es el internet de las cosas? IOT Agenda*.
- González, J., & Llanes, M. (2024). *Una mirada a las mipymes en Colombia*.
https://www.bbvaesearch.com/wp-content/uploads/2024/02/202401_MiPymes_Colombia-1.pdf
- Hasanzadeh, S., Polys, N., & de la Garza, J. (2020). Presence, Mixed Reality, and Risk-Taking Behavior: A Study in Safety Interventions. *IEEE Trans Vis Comput Graph* ., 26, 2115–2125.
- Herbst, R., Rybak, T., Meisman, A., Whitehead, M., Rosen, B., & Crosby, L. (2021). A virtual reality resident training curriculum on behavioral health anticipatory guidance: development and usability study. *JMIR Pediatrics and Parenting*, 4(2).
<https://fundamentalsurgery.com/>. (2023). *Perspectivas de datos profundas*. Fundamental VR.
- Instituto de Investigación ESIC. (2022). Industria 5.0: lo que significa y sus beneficios. *Instituto de Investigación ESIC*.
- Jain, N. (2023, July 15). *¿Qué es la innovación tecnológica? Definición, ejemplos y gestión estratégica*. Ideascale.
- Jimenez, F. (2023, April 11). Aumentan los accidentes laborales: 1.488 por día. *El Colombiano*.

- Kisker, J., Gruber, T., & Schöne, B. (2021). Virtual reality experiences promote autobiographical retrieval mechanisms: Electrophysiological correlates of laboratory and virtual experiences. *Psychological Research*, 85, 2485–2501.
- Kwangtae, K., Kim, D. S. O., & Lim, S. (2021). *Sistema de entrenamiento virtual de seguridad industrial para el entrenamiento multiusuario orientado al usuario estar entrelazado con el simulador de grúa*.
- Li, C. H. J., Liang, V., Chow, Y. T. H., Ng, H.-Y., & Li, S.-P. (2022). A Mixed Reality-Based Platform towards Human-Cyber-Physical Systems with IoT Wearable Device for Occupational Safety and Health Training. *Applied Sciences*, 12(23). <https://doi.org/10.3390/app122312009>
- Likens, S., & Mower, A. (2023). Capacitar a los colaboradores a través de Realidad Virtual. *Price Water House Cooper*.
- Likens, S., & Puthiyamadam, T. (2020). *The Effectiveness of Virtual Reality Soft Skills Training in the Enterprise*. <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/emerging-tech/virtual-reality-study.html>
- López, J. (2024, July 29). *Qué fue la Revolución Industrial: Causas, consecuencias, características e inventos*. Economipedia.
- Mirriñao, A. (2024, December 30). *Tecnología inmersiva: beneficios y aplicaciones*. Initium Soft.
- Moreno, D. (2024). *Innovaciones tecnológicas en la seguridad y salud en el trabajo en Colombia: una revisión documental*. Universidad Santo Tomás.
- Murat, C., Yusuf, I., & Idris, G. (2022). El potencial de la realidad virtual inmersiva para mejorar el aprendizaje: un metaanálisis. *Revista de Investigación Educativa*, 36.
- Newrona, N. (2022, July 26). *8 beneficios de implementar tecnologías inmersivas en la industria farmacéutica*. LinkedIn.
- Newrona Net. (2024, September 26). *Tecnologías Inmersivas e Inteligencia Artificial*. Newrona Net.
- Niño, Y. (2020, December). La revolución industrial 4.0 y la seguridad y salud en el trabajo: origen y evolución. *Revista Del Consejo Colombiano de Seguridad, Protección & Seguridad*.
- Norma UNE 166006. Gestión de La I+D+i: Sistema de Vigilancia e Inteligencia, Pub. L. No. 166006 (2018).
- Nykänen, M., Puro, V., Tiikkaja, M., Kannisto, H., Lantto, E., Simpura, F., Uusitalo, J., Lukander, K., Räsänen, T., Heikkilä, T., & Teperi, A.-M. (2020). Implementing and evaluating novel safety training methods for construction sector workers: Results of a randomized controlled trial. *Journal of Safety Research*, 75, 205–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.09.015>
- Observatorio Tecnológico de la Universidad de Alicante. (2024). *Guía de Vigilancia e Inteligencia Tecnológica*. Universidad de Alicante.
- OIT. (2019). *SEGURIDAD Y SALUD EN EL CENTRO DEL FUTURO DEL TRABAJO Aprovechar 100 años de experiencia*. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40dgreports/%40dcomm/documents/publication/wcms_686762.pdf

- OIT. (2023a). *Panorama de la seguridad y salud en el trabajo en América Latina y el Caribe*.
- OIT. (2023b, July). *Salud y seguridad en trabajo en América Latina y el Caribe*.
- Organización Internacional del Trabajo. (2016). El recurso humano y la productividad. 2016.
- Pangol, A. (2022). Industria 4.0, implicaciones, certezas y dudas en el mundo laboral. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(4), 453–465.
- Parra, M. (2003). *Conceptos Básicos en Salud Laboral* (Organización Internacional del Trabajo, Ed.; Primera Edición). Organización Internacional del Trabajo.
- Pietrafesa, E., Martini, A., Bentivenga, R., Luzzi, V., & Polimeni, A. (2023). OSAS Virtual Reality Lab: An Experience in OSH Training. In Cham. Springer (Ed.), *Metodologías y Sistemas Inteligentes para el Aprendizaje Potenciado por la Tecnología, 13ª Conferencia Internacional. MIS4TEL 2023. Apuntes de Cátedra en Redes y Sistemas*,. Apuntes de Cátedra en Redes y Sistemas.
- Piggot, J. (2022). *Monitoring medical procedures by estimated radiation exposure*.
- 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., Pub. L. No. Resolución 1016, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (1989).
- Pribadi, A. P., Rahman, Y. M. R., & Silalahi, C. D. A. B. (2024). Analysis of the effectiveness and user experience of employing virtual reality to enhance the efficacy of occupational safety and health learning for electrical workers and graduate students. *Heliyon*, 10(15).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34918>
- Rauh, S., Koller, M., Schäfer, P., Bogdan, C., & Viberg, O. (2021). MR On-Set: una formación en seguridad y salud ocupacional con realidad mixta para distribución mundial . *Revista Internacional de Tecnologías Emergentes En El Aprendizaje* , 16(5), 163–185.
- Revista Lectora. (2024, March 1). *Aprendizaje inmersivo*.
- Rey-Becerra, E., Barrero, L., & Ellegast, R. (2023). *Improvement of short-term outcomes with VR-based safety training for work at heights Applied Ergonomics*. 112.
- Rovira. C. (2008). Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva para SEM-SEO. *Hipertext.Net. Universidad Pompeu Fabra*, 6.
- Russell, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (Prentice Hall, Ed.).
- S. Nazir, R. T. S. B. S. C. and D. M. (2012). “Virtual Reality and Augmented-Virtual Reality as Tools to Train Industrial Operators. *Computer Aided Chemical Engineering*, 30.
- Saghafian, M., Laumann, K., Akhtar, R., & Skogstad, M. (2020). The evaluation of virtual reality fire extinguisher training. . *Frontiers in Psychology*, 11.
- Shayesteh, S., Ojha, A., Liu, Y., & Jebelli, H. (2023). Human-robot teaming in construction: Evaluative safety training through the integration of immersive technologies and wearable physiological sensing. *Safety Science*, 159, 106019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106019>

- Silva, L., Bermudez, A., & Vargas, L. (2020). *E-learning: Fortaleciendo los procesos de aprendizaje*.
www.freepik.com
- Streube, G. (2019). *Sistema de entrenamiento de extinción de incendios, método para llevar a cabo el entrenamiento de extinción de incendios y uso de un dispositivo de localización*.
- Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia. (2024). *Consulta de Clasificación Internacional de Patentes, Marcas y Diseños*. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
- Universidad Eafit. (2020). *ERICA-España y sus regiones intercambian conocimiento con Antioquia*.
Universidad Eafit.
- Universidad Europea Creative Campus. (2024, November 8). *La realidad virtual y su influencia en el mundo de los videojuegos*. Universidad Europea Creative Campus.

ANEXO 1. Reunión con expertos

La metodología para el desarrollo de la reunión con expertos fue estructurada para maximizar la efectividad y el aprovechamiento del limitado tiempo disponible. Para este ejercicio se generó una consulta por videollamada con expertos en tecnologías inmersivas que contaran con experiencia en el desarrollo de experiencias o productos para seguridad y salud en el trabajo. A continuación, se describen los pasos clave para llevar a cabo esta reunión:

- Definición de objetivos: Se establece y comparte con los expertos consultados el objetivo de la reunión consistente en obtener información sobre las oportunidades que ofrecen las tecnologías inmersivas en el contexto de la seguridad y salud en el trabajo (SST), identificar facilitadores para su adopción y evaluar su impacto potencial.

- Estructura: Después de realizar una corta presentación se plantean las oportunidades identificadas en este ejercicio de vigilancia e inteligencia consolidadas en la tabla 10 y se procede a realizar dos preguntas orientadoras para proseguir con el mapa de oportunidades y su valoración bajo los criterios definidos.

- Preguntas orientadoras:

1. ¿Cuáles consideras o reconoces que son las principales oportunidades que ofrecen las tecnologías inmersivas (realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta) en el contexto de la seguridad y salud en el trabajo actualmente y en un marco de 10 años?

2. ¿Qué elementos consideras son facilitadores de su adopción en el contexto de la SST en Colombia?

3. Califica bajo los criterios:

Impacto: Bajo, mediano, alto

Tiempo: Aplicación inmediata -hasta 6 meses-, corto plazo -menor o igual a un año-, mediano plazo -menor o igual a 3 años-, largo plazo -3 años en adelante- las oportunidades identificadas en este estudio de vigilancia e inteligencia.

Las respuestas a las preguntas 1 y 2 se consolidan en la tabla 11, mientras que la clasificación de las oportunidades se consolida en la figura 18. Matriz de oportunidades tecnologías inmersivas en el contexto de la SST en Colombia.

Tabla 22

Respuesta de expertos en tecnologías inmersivas a las preguntas orientadoras

	Experto 1	Experto 2	Experto 3
	Tres años de experiencia como desarrollador de realidad virtual para ambientes educativos. Seis meses de experiencia en temas de seguridad y salud en el trabajo (SST).	Director de innovación de una empresa latinoamericana dedicada al desarrollo de soluciones multimedia, incluyendo simuladores para diversas necesidades, entre ellas SST.	CEO de una empresa colombiana dedicada al desarrollo de experiencias XR, metaverso y avatar AI para variados sectores económicos.
¿Cuáles consideras o reconoces que son las principales oportunidades que ofrecen las tecnologías inmersivas (realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta) en el contexto de la seguridad y salud en el trabajo actualmente y en un marco de 10 años?	Actualidad: Las tecnologías inmersivas, como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (AR), ofrecen oportunidades significativas para mejorar la capacitación en entornos laborales. En la actualidad, estas herramientas permiten simular	Actualidad: Actualmente, las tecnologías inmersivas permiten no solo entrenar a los empleados en un entorno seguro sino también mejorar la comunicación entre equipos dispersos geográficamente. Por ejemplo, mediante el uso de RA, los técnicos pueden recibir instrucciones	Actualidad: Las tecnologías inmersivas ofrecen una oportunidad única para crear entornos seguros donde se puede entrenar al personal sin riesgo físico. Esto es especialmente relevante en sectores como la manufactura o la construcción, donde los accidentes son comunes. Las

situaciones de alto riesgo, como incendios o accidentes laborales, sin exponer a los trabajadores a peligros reales. Esto es particularmente valioso en sectores donde los errores pueden tener consecuencias fatales. Por ejemplo, en la construcción, los trabajadores pueden practicar el uso de equipos pesados en un entorno virtual seguro, lo que les ayuda a desarrollar habilidades prácticas y confianza antes de enfrentarse a situaciones reales.

En 10 años: Mirando hacia el futuro, creo que las tecnologías inmersivas se integrarán aún más con inteligencia artificial (IA) y análisis de datos para ofrecer experiencias de aprendizaje personalizadas. Por ejemplo, un sistema podría analizar el rendimiento de un trabajador durante un entrenamiento en RV y ajustar el contenido para abordar áreas específicas donde necesita mejorar. Además, la evolución del metaverso podría

visuales superpuestas mientras realizan reparaciones complejas. Esto no solo aumenta la eficiencia operativa sino que también reduce el margen de error y mejora la seguridad al permitir que los trabajadores sigan procedimientos correctos sin distracciones.

En 10 años: En una década, espero que veamos una integración más profunda del metaverso en las capacitaciones laborales. Esto incluiría entornos virtuales donde los empleados puedan interactuar con simulaciones que replican sus lugares de trabajo reales. Imagino escenarios donde se puedan realizar ejercicios prácticos colaborativos entre diferentes áreas o incluso entre distintas empresas para fomentar una cultura compartida de salud laboral y seguridad.

simulaciones permiten a los trabajadores experimentar situaciones críticas y aprender a reaccionar adecuadamente sin estar expuestos al peligro real.

En 10 años: En el futuro cercano, anticipo que veremos una adopción masiva del metaverso como plataforma estándar para capacitación laboral. Esto permitirá simulaciones más complejas e interactivas que no solo entrenan habilidades técnicas sino que también fomentan habilidades blandas como trabajo en equipo y comunicación efectiva, además la integración AI para el desarrollo de análisis predictivos y avatares que en tiempo real generen retroalimentación será de gran relevancia en este tipo de campos.

	permitir simulaciones más complejas y colaborativas, donde múltiples trabajadores puedan interactuar en un entorno virtual compartido, mejorando así la capacitación en equipo y la comunicación.		
¿Qué elementos consideras son facilitadores de su adopción en el contexto de la SST en Colombia?	La adopción de tecnologías inmersivas en SST en Colombia puede ser facilitada por varios factores. En primer lugar, la creciente disponibilidad de dispositivos móviles y plataformas accesibles permite que más empresas implementen estas soluciones sin necesidad de grandes inversiones iniciales. Además, el apoyo gubernamental a través de políticas que fomenten la innovación tecnológica puede ser crucial. Programas que incentiven a las empresas a invertir en capacitación y tecnología pueden ayudar a superar las barreras financieras. Finalmente, la colaboración entre empresas tecnológicas y organizaciones	La adopción efectiva de tecnologías inmersivas depende también del nivel de inversión en infraestructura tecnológica por parte del gobierno y del sector privado. Un entorno tecnológico robusto es fundamental para soportar estas innovaciones. Además, es importante fomentar el desarrollo de programas educativos que capaciten a los trabajadores no solo sobre cómo usar estas tecnologías sino también sobre su importancia para la seguridad laboral. La formación continua es clave para asegurar que todos los empleados estén preparados para utilizar estas herramientas eficazmente.	La colaboración entre empresas tecnológicas y entidades gubernamentales y países industrializados es esencial para facilitar la adopción de estas tecnologías, logrando que cada vez sea más cercana su implementación. Al unir esfuerzos, se pueden crear programas piloto que demuestren el valor tangible de estas tecnologías en términos de reducción de costos asociados a accidentes laborales y mejora del bienestar general del empleado. Además, es crucial contar con programas educativos que preparen a todos los actores: trabajador, empleador, aseguradores, empresas de todos los sectores, etc. En el

dedicadas a la SST
como las ARL's
puede facilitar el
desarrollo de
soluciones adaptadas
a las necesidades
específicas de
Colombia.

uso de estas
tecnologías y a la vez
les permita conocer
de cerca los
beneficios de su
adopción.