

Exterior: Revista de Investigación de ADEN University
ISSN L 2953-3090
Vol. 5 (1) enero/junio 2026

Innovación en equipos de protección personal para reducir riesgos laborales en la minería de Latinoamérica

Innovation in personal protective equipment to reduce occupational Hazard in Latin American mining

Abdiel González
Universidad Euroamericana, Panamá
abdielgon87@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5562-6682>

Recibido: 25/09/2025.

Aceptado: 30/11/2025.

Publicado: 10/01/2026.

Cómo citar: González, A. (2026). Innovacion en equipos de protección personal para reducir riesgos laborales en la minería de latinoamérica. *Exterior*, 5(1), 28-45. <https://doi.org/10.56880/exterior51.3>

Resumen

Este artículo analiza las nuevas tendencias tecnológicas de los equipos de protección personal (EPP) utilizados en la industria minera de Latinoamérica en donde debido a las características peligrosas del sector, se requieren adoptar nuevas acciones de protección para la seguridad del trabajador. El estudio se centró en una revisión bibliográfica entre los años 2018 al 2025, utilizando un diseño documental-descriptivo. Se analizaron más de 30 fuentes incluyendo informes oficiales de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), revistas especializadas en seguridad ocupacional en minería, informes estadísticos de las diferentes cámaras mineras de países, informes de empresas mineras, patentes y estudios de casos para comprender los avances en la evolución de los equipos de protección personal inteligentes. Como resultado del estudio, se identificó que la innovación de los equipos de protección personal inteligentes se enfoca en la fabricación de nuevos materiales que mejoran la comodidad y uso, pero principalmente en la incorporación de sistemas electrónicos a los equipos tradicionales. Ahora no solo protegen, sino que también monitorean en tiempo real la exposición a peligros o incluso el estado físico del trabajador. Esta innovación requiere de plataformas informáticas para el análisis de datos y garantizar un funcionamiento eficaz; lo que hace indispensable la ejecución del internet de las cosas en la industria 4.0. Aunque hoy es una solución con un alto costo inicial, siendo ésta una limitante, se espera que con el tiempo los costos de implementación disminuyan.

Palabras clave: innovación en EPP, tecnología en EPP, riesgos mineros, seguridad industrial minera, EPP inteligentes, minería.

Abstract

This article analyzes the new technological trends in personal protective equipment (PPE) used in the Latin America mining industry, where, due to the sector's hazardous characteristics, it is necessary to adopt new protective measures for worker safety. The study focused on a literature review from 2018 to 2025, using a documentary-descriptive

design. More than 30 sources were analyzed, including official reports from the International Labour Organization (ILO), specialized journals on occupational safety in mining, statistical reports from various national mining chambers, mining company reports, patents, and case studies to understand advancements in the evolution of smart personal protective equipment. As a result of the study, it was identified that innovation in smart personal protective equipment focuses on the development of new materials that improve comfort and usability, but mainly, on the integration of electronic systems into traditional equipment. These devices now not only provide protection but also monitor in real time the worker's exposure to Hazard and even their physical condition. This innovation requires digital platforms for data analysis to ensure effective operation, making the implementation of the Internet of Things within Industry 4.0 indispensable. Although today it remains a solution with high initial costs- thus representing a limitation- it is expected that overtime implementation costs will decrease.

Keywords: innovation in PPE, technology in PPE, mining Hazards, mining industrial safety, Smart PPE, wearables mining.

Introducción

A inicios del siglo XX, producto de la revolución industrial, surge la mayor sensibilización ante una elevada incidencia de accidentes, enfermedades y muertes en el trabajo debido al crecimiento exponencial en la producción de nuevas sustancias químicas. En aquella época los equipos de protección personal eran rudimentarios, pesados e incómodos. Posterior a 1945, con la formación de instituciones mundiales como Las Naciones Unidas (ONU) y la organización Mundial de la Salud (OMS), la seguridad industrial gana más fuerza para difundir su mensaje de prevención mundial. En 1948, se consolida una colaboración científica entre la OIT/OMS destinado a determinar, medir y controlar las exposiciones potencialmente peligrosas en los lugares de trabajo, integrando disciplinas como la medicina del trabajo, la toxicología y la epidemiología.

La Organización Internacional del Trabajo (2024) estima que 2.93 millones de trabajadores fallecen cada año como consecuencia de factores vinculados con el trabajo. En América Latina y el Caribe se concentra el 25% de los metales estratégicos de los cuales países como Chile, Perú, México, Brasil, Argentina y el Estado Plurinacional de Bolivia presentan mayor actividad minera en cuanto a exportaciones de gran escala y un sector más industrializado (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2023). Por lo tanto, al contar estos países con empresas sólidas, tanto estatales como multinacionales, tienen la capacidad para implementar nuevos sistemas innovadores, como los equipos de protección personal inteligentes.

Chile está entre los líderes en minería en Latinoamérica y el Caribe, no solo por su experiencia, sino por la capacidad de poder aprender del pasado. El derrumbe en la mina de Atacama en 2010, que dejó atrapados a 33 mineros, marcó un punto de inflexión en la industria. Desde entonces, el país ha reforzado sus normativas de seguridad y salud en el trabajo logrando resultados claros: según el Servicio Nacional de Geología y Minería (2024), la tasa de accidentabilidad se redujo en un 88% desde aquel año. Además, Chile ha impulsado el Plan Nacional Minero 2050 (Ministerio del Medio Ambiente, 2021), donde uno de los pilares fundamentales es mantener los más elevados y exigentes estándares en esta área.

Entorno a la creciente conciencia global y junto a los avances tecnológicos, los fabricantes han creado una nueva generación de equipos de protección personal inteligentes equipados con sensores y conectividad que monitorean los entornos peligrosos en tiempo real, siendo que no solo mejoren la seguridad, sino que también sea más cómodo su uso. Es decir, los equipos de protección personal inteligentes aprovechan los beneficios que ofrece la industria 4.0 y el internet de las cosas. Estos equipos innovadores, deben someterse a pruebas y estándares diferentes a los de los equipos de protección personal tradicionales, ya que es necesario realizarles pruebas de manera integral, para garantizar que la incorporación electrónica no cause otros riesgos (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).

A pesar que la minería abarca el 1% de la fuerza del trabajo mundial, este sector representa el 8% del número de accidentes mortales producidos en el lugar de trabajo (OIT, 2019). La minería continúa siendo considerada una de las labores más peligrosas teniendo en cuenta los índices de lesiones, enfermedades ocupacionales e incluso muertes entre los trabajadores de las minas.

Bajo este contexto, el presente artículo atiende la siguiente interrogante: ¿Cómo ha influido la innovación tecnológica en el diseño y funcionalidad de los equipos de protección personal en la mejora de la seguridad laboral? Desde esta perspectiva, la investigación se centra en el sector de la minería en América Latina y el Caribe, específicamente, en los países que cuentan con un sector minero a gran escala, en donde se han implementado nuevas tecnologías en seguridad laboral y han logrado mayor impacto. Con esto, el objetivo consiste en analizar los avances tecnológicos más relevantes en el diseño e ingeniería de equipos de protección personal entre los años 2018 hasta 2025.

En este sentido, Fajardo López et al. (2024) presentaron un estudio sobre la Inteligencia Artificial (IA) aplicada a diversas áreas de la seguridad y salud laboral, centrándose en aplicaciones y algoritmos que identifican riesgos en tiempo real, particularmente en el contexto latinoamericano. Por su parte, Cuevas Bonilla et al. (2024) analizaron los accidentes en la minería subterránea en Colombia, señalando, entre otros factores, las deficiencias en los sistemas de monitoreo ambiental. La OIT (2025) publicó recientemente su informe Revolución de la seguridad y salud, en el que resalta el papel del uso de herramientas inteligentes de seguridad y salud en el trabajo y los sistemas de vigilancia que permitan la detección de peligros en tiempo real.

Esta investigación pretende aportar información en el desempeño de los equipos de protección personal inteligentes en el sector minero de América Latina y el Caribe. Un ejemplo destacado es el caso de BHP Group, una mina de cobre en Chile, en donde han implementado gorras inteligentes con sensores incorporados que analizan las ondas cerebrales para detectar fatiga del trabajador. Si el conductor presenta indicios de somnolencia, el sistema alerta al trabajador como a su supervisor, evitando posibles accidentes (BHP, 2024).

En esta investigación, se presenta un panorama actualizado de las innovaciones en la seguridad industrial. En consecuencia, analiza el impacto de los equipos de protección personal inteligentes en la minería, recopilando información y aportando conocimiento esencial sobre las tecnologías

emergentes que mejoran la identificación oportuna y el monitoreo de riesgos en la actividad minera.

Revisión de la literatura

Para la elaboración de este estudio, la revisión literaria se sustenta en investigaciones previas realizadas por Fajardo López *et al.* (2024) quienes trataron el tema de la inteligencia artificial y su uso en la seguridad y salud, desde una perspectiva generalizada en la identificación de herramientas y usos en este campo, siendo la medicina del trabajo una de estas funcionalidades específicas, en donde a partir del 2019, existe un auge creciente en las investigaciones de este tipo. Por su parte, Cuevas Bonilla *et al.* (2024) caracterizaron la accidentabilidad laboral en la minería subterránea de carbón, considerándolas como altamente riesgosa, proponiendo alternativas para reducir la accidentabilidad laboral, entre los cuales destaca, mejorar el sistema de monitoreo de gases. Los autores concluyen resaltando la adopción de nuevas tecnologías que permitan detectar los peligros en las diferentes áreas y etapas de la minería subterránea.

Morales Oñate (2024) estudió la implementación de la inteligencia artificial en la optimización de recursos en los procesos que ocurren en la minería resaltando tecnologías claves como la sensorización inteligente que incluye el monitoreo en tiempo real de variables críticas. Este planteamiento ramifica entre sus aplicaciones a la seguridad ocupacional, logrando que los sistemas predictivos de alertas temprana se activen, evitando los accidentes. A pesar que dicho estudio muestra un panorama enfocado a la productividad, también resalta algunos casos de éxito en minerías de Latinoamérica, en donde la digitalización en la seguridad ocupacional del sector minero crea un espacio más seguro.

En las investigaciones de Bazan Huapaya & Tenorio Bernabel (2024) titulado “Plan estratégico para una empresa de ventas de EPP en el sector de minería”, los autores utilizaron entre una de sus metodologías, la realización de entrevistas a gerentes de los departamentos de comercialización de equipos de protección personal. Al consultar sobre las oportunidades en el mercado de equipos de protección personal para minería en los próximos años, algunos gerentes coincidieron en la importancia de la innovación tecnológica. Uno de ellos señaló que “la demanda de equipos inteligentes que mejoran la seguridad” (p. 81), mientras que otro consideró que “la tendencia en el mercado serán los equipos de protección personal con sensores inteligentes para medir el nivel de riesgo en tiempo real” (p. 91).

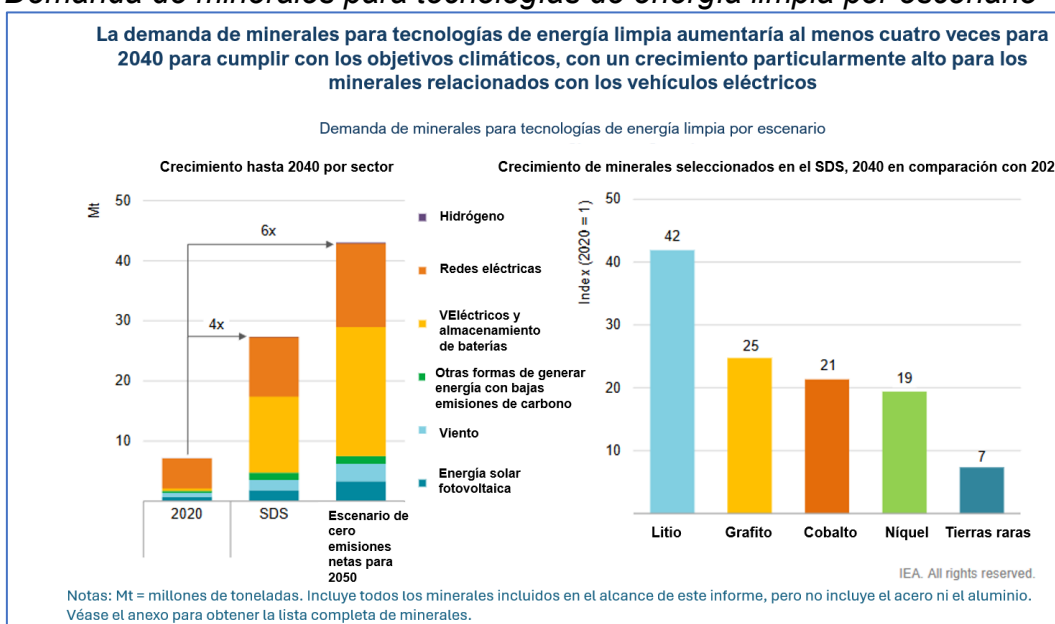
Los recursos naturales cumplen un papel importante en el desarrollo económico de América Latina y el Caribe. La región posee gran parte de las reservas mundiales: alberga el 47% de las reservas mundiales de litio, el 36.6% de las reservas de cobre, el 34.5% de las de plata, el 16.7% de las de tierras raras, entre otros metales. Se considera que alrededor de 2.4 millones de personas de América Latina y el Caribe están vinculadas directamente en la minería a pequeña escala, informal o ilegal. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2023).

La transición energética mundial y el auge que está teniendo la electromovilidad tendrán un impacto decisivo en los minerales que exportará la región. Según estimaciones de la Agencia Internacional de Energía (International

Energy Agency [IEA], 2022) la demanda de minerales para tecnologías de energía limpia puede crecer hasta 42 veces de 2020 a 2040, la de grafito, 25 veces, la del cobre casi 3 veces. También minerales como el cobalto o el níquel pueden incrementar su demanda en 21 y 19 veces respectivamente (Figura 1).

Figura 1

Demanda de minerales para tecnologías de energía limpia por escenario



Nota 1. IEA (2022). Modificado para traducción.

Nota 2. Datos basados en el escenario de desarrollo sostenible (SDS) de la AIE, en la Figura 1 'Growth of selected minerals in the SDS, 2040 relative to 2020' (IEA, 2022, p. 9).

Las estadísticas en el sector de la minería en la región, fueron revisadas en las fuentes oficiales de los países consultados, entre las cuales destaca el Ministerio del Ambiente de Chile (Ministerio del Ambiente, 2021) a través de su informe Política Nacional Minera 2050, el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (2024), la Cámara Minera de México (2024) en su informe de sostenibilidad; y los informes anuales de las empresas mineras ubicadas en sus páginas web.

En una reciente publicación, la OIT (2025) analizó el impacto de la digitalización y automatización de millones de empleo en todo el mundo. El informe abordó el uso de las herramientas inteligentes de seguridad y salud en el trabajo y los sistemas de vigilancia, incluidos los sensores y los dispositivos que utilizan inteligencia artificial, que permiten detectar los peligros en tiempo real, predecir los riesgos y la adopción de medidas de seguridad proactivas. Asimismo, la OIT sigue mencionando que

los dispositivos inteligentes ponibles, incluidos los EPP inteligentes, contribuyen a la seguridad, la salud y el bienestar de los trabajadores, pero para garantizar su eficacia deben abordarse cuestiones relacionadas con la comodidad, la facilidad de uso y el ajuste adecuado, especialmente en colectivos de trabajadores diversos. (p. 77)

Desde una perspectiva de las normativas aplicadas a los equipos de protección personal inteligentes, la European Agency for Safety and Health at Work (2022) señalaba que los fabricantes y organismos certificadores, deben someter a prueba el producto en su conjunto, para garantizar que la inclusión de los componentes electrónicos en el equipo de protección tradicional no genere nuevos riesgos al trabajador. Las pruebas en la seguridad eléctrica deben abarcar aspectos técnicos en el funcionamiento de las baterías, la temperatura que genera, el impacto de los campos electromagnéticos y las interferencias que puedan provocar en los materiales de los equipos tradicionales.

El presidente de Honeywell para Latinoamérica ofreció una visión detallada de la inteligencia artificial y la automatización en el sector minero, recalcó que uno de los principales impactos de la inteligencia artificial en este sector es el aumento de la eficiencia operativa al identificar riesgos potenciales y propone medidas preventivas, reduciendo accidentes laborales (Portal Minero, 2025). Por lo tanto, considerando todos los antecedentes mencionados, la región Latinoamericana del sector minero debe enfocarse en el concepto de la 'minería inteligente' invirtiendo en seguridad y salud del entorno laboral para proteger su recurso más valioso: el capital humano.

Metodología

La investigación es del tipo descriptivo-documental, ya que se basa en la revisión de las fuentes a través de artículos científicos, informes técnicos oficiales, publicaciones de patentes, revistas digitales especializadas en minería, así como otras fuentes gubernamentales; con la cual se pueda recopilar información sobre el uso y las nuevas tendencias en los equipos de protección personal entre los años 2018 al 2025 de los países líderes de la región Latinoamericana en producción minera.

El diseño es no experimental transversal, ya que observa el fenómeno tal como se dan en su contexto natural, sin manipular variables, con el fin de analizarlos. Bajo esta afirmación, se estudia el desarrollo de sistemas digitales basado en inteligencia artificial, la implementación de equipos de protección personal inteligentes y el relato de casos de éxitos que reportan las empresas mineras al adoptar estas innovaciones en sus operaciones en el periodo 2018 a 2025.

El análisis del contenido, en la caracterización de la información, se enfatizó en aquellos países líderes en la exportación de minerales y con mayor trayectoria en la región según el informe "Panorama de los recursos naturales en América Latina y el Caribe" de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2023), el cual posiciona a Chile, Perú, México, Brasil, Bolivia, Colombia como países con una fuerte actividad minera y con recursos minerales estratégicos en el mercado internacional.

Con el objetivo de identificar la implementación de innovaciones en los equipos de protección personal inteligentes en la industria minera de la región, se consideraron aquellas empresas mineras con operaciones en mediana y a gran escala. Este criterio permite conocer la robustez operativa y los recursos económicos en las empresas mineras, factor clave para invertir en nuevas tecnologías en materia de seguridad industrial.

Con respecto a la búsqueda de información, se procedió a colocar palabras claves como: EPP inteligentes, monitoreo tiempo real mina, wearables, Smart textil, Smart mining, IA mining Latinoamérica, informe cámara minera, resultando seleccionadas más de 30 fuentes, de las cuales se escogieron aquellas procedentes de instituciones oficiales, como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y los acelerado informes más recientes de los ministerios o secretarías de minería de los países anteriormente mencionados. También se consultaron revistas digitales que hacen referencia a casos de éxitos, en los cuales se le aplicó la triangulación de datos para validar la información y minimizar los sesgos, lo que permite alcanzar un alto grado de confiabilidad de la información.

Como limitantes en este estudio, se presentan los siguientes puntos: a) la falta de información en la publicación de los informes anuales de algunas instituciones; b) pocos datos precisos sobre el impacto de los equipos de protección personal inteligentes en las operaciones de las empresas mineras, debido a que suelen publicar sus índices de productividad. Pese a esto, la estrategia utilizada permitió cimentar bases sólidas en el logro del objetivo de esta investigación.

Debido a que este estudio es de carácter descriptivo, el diseño metodológico aborda el análisis documental comparativo de la literatura existen con respecto a la innovación de los equipos de protección personal inteligentes y su incursión cada vez mayor en la industria de la minería en los países latinoamericanos.

Resultados

La minería ha experimentado un giro acelerado en los últimos años marcada por la adopción de nuevas tecnologías digitales en la ingeniería aplicada a la seguridad y salud ocupacional, proporcionando adelantos con el fin de alcanzar un entorno laboral más seguro. Con la industria 4.0, el sector minero evoluciona a lo que hoy se conoce como *Smart mining*. Este concepto se refiere a la aplicación de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la seguridad laboral en las operaciones de la minería.

Esta sección se desarrolla en tres ejes temáticos presentados a continuación:

Primer eje, descripción de los equipos de protección personal inteligentes

Los equipos de protección inteligentes ofrecen a las personas que los lleva un nivel de protección, en ocasiones con comodidades superiores, y pueden ofrecer información relevante para el cuidado y el mantenimiento (European Agency for Safety and Health at Work, 2022). Los equipos de protección personal inteligentes se pueden clasificar en dos grandes grupos: con elementos electrónicos y aquellos sin elementos electrónicos, según se muestra en la Tabla 1.

Los tejidos inteligentes son textiles que tienen la capacidad de variar sus propiedades físicas y/o químicas ante los cambios que se produzcan, ofreciendo beneficio y confort a los usuarios (Gutiérrez Durán & Pérez Contreras, 2022). Nuevos productos están surgiendo a medida se explora más esta área tecnológica. Estos dispositivos ponibles usan textiles inteligentes, que combinan

factores ambientales (temperatura, luz, químicos, humedad, pH) y actuadores (mecánicas, electromagnéticas) para generar respuestas (color, intensidad lumínica, fluorescencia, forma) o modificar propiedades eléctricas, químicas, térmicas y de humectación (Younes, 2023).

Tabla 1

Ejemplos de equipos de protección personal inteligentes según su clasificación

Con elementos electrónicos			Sin elementos electrónicos
Sin recogida de datos	Con recogida de datos no personales	Con recogida de datos personales	Con material mejorado que interactúa con el entorno
Una prenda de visibilidad inteligente con iluminación	Datos sobre la ubicación de los equipos de protección personal, hacia un punto de control, y análisis posterior.	Datos biométricos, datos sobre la localización del trabajador.	Rodilleras con material inteligente que absorben impactos
Un tejido inteligente y conductor que conforma un calentador con resistencia	Datos sobre el entorno de quien lo usa.	Datos de detección de movimientos	Guantes fabricados con tejido inteligente que cambia de color al entrar en contacto con una sustancia peligrosa

Nota. Elaborada a partir de European Agency for Safety and Health at Work (2022).

Además de los materiales cromogénicos capaces de cambiar de color cuando entran en contacto con un agente químico, se han desarrollado materiales e hilos de alta resistencia a los cortes, la abrasión y retardantes al fuego, tecnología que son utilizadas en la fabricación de guantes (Salamanca Galvis, 2024).

Padilla De la Cruz (2025) estudió los equipos de protección personal inteligentes catalogándolos como dispositivos wearables y sensores inteligentes en seguridad laboral. El autor lo describe como “dispositivos electrónicos que el trabajador lleva puesto (en el cuerpo o indumentaria) capaces de monitorear parámetros en tiempo real” (p.4). En este sentido, el monitoreo puede abarcar múltiples variables tales como: salud (frecuencia cardiaca, estrés, temperatura corporal, fatiga), posicionamiento (ubicación GPS), el entorno de la persona (temperatura ambiente, gases tóxicos). De dicho estudio se deriva la Tabla 2 que describe las características de los equipos de protección personal inteligentes.

Además, también se destaca la innovación en botas de seguridad inteligentes, que consisten en almohadillas térmicas dirigidas a las regiones de los dedos y el talón, mejorando las sensaciones de confort térmico corporal de trabajadores en ambientes de frío extremo (Zihao et al., 2020).

Tabla 2

Ejemplos de tecnología wearables y sensores aplicados a la prevención de riesgos laborales

Tecnología wearables, sensor	Descripción /función	Riesgo prevenido	Ejemplo de impacto reportado
Relojes y pulseras inteligentes	Monitorizan signos vitales (pulso, temperatura), nivel de fatiga (mediante algoritmos de movimientos y ritmo circadiano). Envían alertas al detectar anomalías.	Golpe de calor, fatiga excesiva (que puede causar errores o accidentes).	Reducción de incidentes por agotamiento físico, detección temprana de estrés térmico evitando colapso.
Cascos inteligentes con sensores	Incorporan detección de caídas (acelerómetros) y sensores de entorno (gases, temperatura, ruido). Pueden incluir GPS.	Caídas desde altura; atmósferas tóxicas, ruido externo.	Alarma inmediata al trabajador y central al detectar caídas (<1 seg), posibilitando rescate rápido; evacuación antes de explosiones por gas.
Chalecos o ropa con sensores (EPP inteligentes)	Sensores textiles que monitorean postura (giroscopios), vibración, frecuencia cardíaca. Algunos con LEDs de señalización y conexión inalámbrica.	Posturas forzadas, sobreesfuerzo; baja visibilidad (riesgo atropello).	Disminución de lesiones musculoesqueléticas: un chaleco con sensores posturales redujo en 25% las sobreexigencias al alertar al trabajador de malas posturas (estudio experimental en almacén).
Detectores portátiles de gases	Dispositivos (tipo clip) que miden en tiempo real concentraciones de gases peligrosos (CO, H ₂ S, metano, etc.) cerca del trabajador.	Intoxicaciones, atmósferas explosivas (espacios confinados, minería).	Caso en minería: cero muertes por asfixia en 3 años tras dotar a mineros de detectores personales de O ₂ /CO, comparado con promedio histórico de 2 por año anteriormente. (Fuente: informe minería Perú).
Sensores de proximidad (anticolisión)	Etiquetas UWB o RFID en casco/ropa que interactúan con sensores en maquinaria móvil, advirtiendo al operador si un trabajador está demasiado cerca (y viceversa)	Atropellos por vehículos industriales (montacargas, camiones), colisiones máquina-persona.	Estudios en construcción muestran eliminación virtual de "casi atropellos". Los sistemas frenan automáticamente la máquina al detectar un obrero en zona de riesgo.
Banda sensor de fatiga para conductores	Dispositivo en cabeza o anteojos que monitorea parpadeo, dirección de la mirada y/o ondas cerebrales (EEG sencillo) para detectar microsueños.	Accidentes de tráfico por enojo o somnolencia en conductores de maquinaria pesada.	Reducción del 60% de eventos de microsueños al volante en conductores de camiones mineros, al recibir vibración/ alarma sonora a tiempo (datos de una mina en Chile, 2020).

Apps móviles de SST (checklist y reporte)	(No son hardware wearables, pero es tecnología móvil relevante). Apps en smartphone del trabajador para reportar condiciones inseguras con foto/GPS, incluyen listas de verificación interactivas.	Varios (facilita identificación proactiva de riesgos, empoderando al trabajador).	Aumento de 40% en notificación de "casi accidentes" y condiciones inseguras tras implementar app, mejorando la respuesta preventiva (estudio en sector petrolero).
---	--	---	--

Nota. Padilla De la Cruz (2025).

También es importante destacar las investigaciones de Che Nafiah et al. (2025) sobre la propuesta de un calzado de seguridad inteligente, en donde incorpora materiales ecológicos, como cuero de microfibra, plantillas ergonómicas, la integración de rastreo por GPS en tiempo real, botón de emergencia SOS dirigidas, especialmente para sectores de la construcción, minería y manufactura. En dicho estudio, los investigadores evaluaron cuán importante es la funcionalidad del producto para la seguridad laboral, revelando que el 73.8% de los encuestados destacó el botón de SOS, el 45% respondió que el seguimiento de ubicación es muy importante y el 47.6% indicó que había estado en situaciones donde el rastreo GPS hubiera sido útil.

En el campo de la protección auditiva han surgido innovaciones al integrarles sensores que comparan los niveles sonoros al que está expuesto el oído humano. El envío de señal de alerta se hace a través de un transmisor inalámbrico (Aymant et al., 2024). Otra tecnología emergente que está ganando terreno es el desarrollo de sistemas de control activo, que utiliza micrófonos y altavoces para emitir ondas sonoras que cancelan el ruido, estos sistemas, conocidos como tecnología de cancelación activa (Ccallata Gómez & Ayala Puma, 2025). Al detectar un nivel de sonido inseguro, el sistema genera un sonido inverso logrando la cancelación del mismo, mejorando la percepción del entorno laboral por parte del usuario.

Segundo eje, sistemas digitales inteligentes en minería

Tecnología de la realidad virtual. El entorno de la minería, dadas sus características, presenta diversas características, como equipos grandes y costosos, en las que se pueden observar y entrenar mejoras operativas mediante simuladores (Da Silva & Da Silva., 2022).

En este mismo contexto, la Cámara Minera de México (2024) señalaba que la evaluación de las capacidades de los colaboradores hoy se puede llevar a cabo no solo a través de entrevistar o por escrito, sino también a través de las simulaciones de eventos reales con realidad virtual. Es decir, estas tecnologías hacen posible que los trabajadores puedan practicar en un entorno controlado, lo que reduce los riesgos de accidentes durante la formación y desarrolla habilidades y destrezas necesarias para el cargo (OIT, 2025). Dadas las características de las minas, sobre todo las subterráneas, con maquinaria especializada y en espacios reducidos, es crucial la capacitación de los operadores en los entornos virtuales, con el objetivo de anticiparse ante futuras situaciones de trabajo.

La automatización y la robótica avanzada. La robótica avanzada es una tecnología que se utiliza para realizar tareas que requieren gran precisión y

autonomía, mejorando la productividad y la seguridad en el lugar de trabajo. Con estas tecnologías se reduce la exposición de los trabajadores a actividades físicamente exigentes o peligrosas (OIT, 2025).

Andes Pacific Technology Access (2021) se refiere al concepto de Smart mining como “la minería del futuro, la cual, a través del uso de las tecnologías de vanguardia de manera integrada, consigue una gestión eficiente del proceso productivo” (p.7). Esto, al mismo tiempo se convierte en ahorro de energía, protege vidas y optimiza los procesos. La minería es heterogénea en cuanto a las aplicaciones y el uso de la tecnología, ya que dependen de las necesidades de cada empresa. Es por eso, que algunas empresas optan por la automatización de sus procesos, mientras que otras apuntan a la robotización en sus operaciones, como en el caso del uso de vehículos autónomos.

La automatización, la robótica, la inteligencia artificial y el internet de las cosas están revolucionando la manera de trabajar en las operaciones mineras subterráneas de manera que se permite un mayor control y una mayor precisión en tiempo real de los procesos. (Valero Sánchez, 2025). De lo antes descrito, se derivan aplicaciones como las que se indican en la Tabla 3.

Tabla 3

Aplicaciones tecnológicas en la minería subterránea

Aplicación	Tecnología	Descripción
Vehículos autónomos eliminan la necesidad de operadores.	Sensores LIDAR	Recopila información (mapeo 3D) del entorno para navegar, operar y tomar decisiones. Permite identificar como paredes, desniveles en los túneles, evitan colisiones y optimizan las rutas.
	Cámaras de alta resolución	Permite obtener a los sistemas autónomos detectar señales, marcas en el suelo o personas, identificando objetos y obstáculos.
	Sensores ultrasónicos	Detectan objetos cercanos permitiendo maniobrar en espacios pequeños.
	Sensores ambientales	Miden variables ambientales como temperatura, gases tóxicos, niveles de oxígeno.
	Sistema de navegación autónoma	Mapeo dinámico en tiempo real del entorno de la mina. Es necesario del internet de las cosas (IoT) para minas subterráneas.
Monitoreo remoto y sistemas de control	Posicionamiento y seguimiento por RealTrac	Determina la ubicación y objetos.
	Geomonitoring Hub	Reúne toda la tecnología de sensores en una visión holística.
Drones para inspección y cartografía	Cartografía y Modelado 3D	Modelo tridimensional de la infraestructura subterránea, información sobre forma y estabilidad del túnel.

Gemelos digitales en la minería	Simulación machine learning, modelado 3D	Permite hacerse la idea de cómo es el diseño de los túneles, las simulaciones permiten optimizar los procedimientos, extrae información a través de grandes volúmenes de datos, realiza replicas virtuales exactas sobre situaciones de emergencia capacitando al personal.
---------------------------------	--	---

Nota: Elaborada a partir de Valero Sánchez (2025).

Inteligencia artificial y gestión algorítmica del trabajo. El *deep learnig* (aprendizaje profundo) es un subcampo de la inteligencia artificial que se encarga de realizar modelos predictivos mediante el aprendizaje a partir de un conjunto de datos específicos utilizado durante su desarrollo. En este sentido Azhari *et al.* (2023) destacan que

en los 5 últimos años, las aplicaciones del *Deep learning* han ido en aumento en el ámbito de la investigación minera. Se ha implementado para resolver diversos problemas relacionados con la exploración minera, la extracción de minerales y metales, y los procesos de rehabilitación. La creciente adopción de la automatización en la minería brinda una oportunidad para una aplicación más amplia del *deep learning* como parte de un marco de automatización minera (p. 1)

El volumen de datos que genera la industria minera, abre el compás para que se desarrollen aplicaciones relacionadas en sus procesos, expresado en las Tablas 4 (Aplicaciones del Deep learning en la extracción minera) y 5 (Aplicaciones del Deep learning en exploración y reclamación minera).

Tabla 4

Aplicaciones del Deep learning en la extracción minera

Perforación y voladura	Gestión de equipos	Gestión geotécnica	Preparación de mineral	Seguridad minera
Presión de aire	Diagnóstico de fallos	Estabilidad	Selección	Drenaje
Roturas	Acarreo	Estallido de roca	Molienda	Polvo
Daños	Navegación	Gestión de talud		Terremoto
Voladura de rocas	Mantenimiento	Relleno con desechos		Gas
Vibración	Extracción	Materiales de vertedero		Seguridad laboral
Fragmentación de roca				Ventilación

Nota: Azhari *et al.* (2023)

Tabla 5

Aplicaciones del Deep learning en exploración y reclamación minera

Exploración Minera		Reclamación minera	
Exploración	Planificación	Cobertura del suelo	Riesgo
Anomalía geoquímica	Estimación de costos	Detección de cambios	Deslizamiento de tierra

Mapeo geotécnico	Planificación	Mapeo de cobertura del suelo	Hundimiento
Análisis y prospectiva mineral	Estimación de reserva		Contaminación del suelo y el agua

Nota. Azhari *et al.* (2023)

En el futuro, se puede ver una gran integración entre los sistemas de gestión de proyectos y las nuevas tecnologías. Por ejemplo, los algoritmos de inteligencia artificial podrían usarse en la optimización de los cronogramas de proyectos, predecir riesgos y proponer acciones correctivas de forma automática (Morales Oñate, 2024).

Tercer eje, casos destacados en la minería latinoamericana

Algunos de los casos relevantes en la adopción de sistemas inteligentes de la región, comprende la minería de mediana y gran escala tomando como referencia los países líderes en el sector minero, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2023).

Minera Media Luna (México). La empresa implementó el uso de un sistema de seguridad denominado SmartCap, el cual realiza la lectura de ondas cerebrales midiendo en tiempo real el estado de alerta y fatiga mientras se está en labor de conducción. Según las estadísticas de la empresa minera, las alertas disminuyeron en un 28% y las alarmas en un 50% (Cámara Minera de México, 2024).

Minera Peñoles y Fresnillo plc (México). Es una empresa con más de 14 operaciones mineras y de metales preciosos en México y con presencia internacional en países de América Latina como Perú, Chile, Bolivia y Brasil (Peñoles, 2023). En la minera Sabinas, la telemetría se realiza para monitorear las condiciones del motor, alertas en sistemas anticolidión, alarmas por exceso de velocidad, en el uso del sistema de somnolencias y cámaras de reversa. Además, han instalado un sistema de voladura remota y de sensores de somnolencia y fatiga en los equipos de transporte; así como la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real a personal en el interior de la mina (Peñoles, 2023). En la minería Peñoles han implementado un modelo de gestión para la innovación continua a lo largo de toda la cadena de valor, cuyo objetivo es identificar las tecnologías de la industria del futuro para maximizar la productividad y mejorar la seguridad en las operaciones mineras, en línea con la visión de una mina inteligente a través de la práctica de las 5S, de las cuales se menciona el entrenamiento de realidad virtual, las mediciones sensoriales a través de inteligencia artificial, machine learning, analítica de datos y sensores integrados (Peñoles, 2021).

Minera Las Bambas (Perú). Martínez Neira (2021) estudió el caso de la minera Las Bambas donde se implementó el uso de vicha inteligente a los conductores mineros concluyendo que el control de ingeniería es efectivo en la reducción de incidentes por fatiga.

Minera Moquegua (Perú). Quellaveco es uno de los yacimientos de cobre de mayor importancia en el mundo, operado por la compañía global minera Anglo American. La empresa ha implementado modelos en sistemas de mantenimiento predictivo que detectan fallas antes de que ocurran, permitiendo que las

operaciones sean más seguras y los procesos con inteligencia artificial se aceleren al estar digitalizados con sensores (Anglo American, 2025)

Mina La Carbonera (Colombia). Molina et al. (2023) utilizaron simulaciones basados en inteligencia artificial para demostrar de qué manera se podría evitar explosiones como la que sucedió en una mina en el municipio de Tópaga en 2021, que dejó como resultado 12 víctimas mortales. Los investigadores utilizaron como información las mediciones de los gases (antes y después del accidente), análisis de muestras de materiales textiles, metálicas y plásticas; e investigaciones geológicas del entorno para representar un modelamiento físico del sistema de ventilación de la mina antes de la explosión. Los autores reconocen que el gran volumen de datos que generar los detectores de gases portátiles de uso frecuente en la minería se utilizan de forma limitada. Sin embargo, al implementar la interconectividad de los datos en la nube y mediante la aplicación de algoritmos en inteligencia artificial se logra alertar sobre una posible explosión.

Codelco (Chile). Es una empresa del Estado Chileno, líder en la producción de cobre en el país. La empresa utilizó la inteligencia artificial al incorporar un sistema que monitorea variables en tiempo real que generaran alertas y recomendaciones operacionales (Codelco, 2019). También han implementado la operación con camiones autónomos subterráneos, el desarrollo de analítica avanzada a través de algorítmicos matemáticos capaces de generar predicciones para optimizar la producción y aumentar la seguridad (Codelco, 2021).

Consideraciones finales sobre el monitoreo y el bienestar laboral

La innovación en los dispositivos wearables (tecnología ponible) aporta un monitoreo continuo de variables de salud o condiciones del entorno que tiene el potencial de mejorar el bienestar físico del trabajador y prevenir accidentes. Sin embargo, mediante el uso de estas nuevas tecnologías, cada vez se acerca más hacia una delgada barrera que divide la seguridad de la privacidad.

No obstante, también se identifican desafíos en la adopción de wearables. Algunos estudios cualitativos señalan reticencia de trabajadores por preocupaciones de privacidad (sentirse “vigilados 24/7”) y comodidad (Padilla De la Cruz, 2025). Para que los equipos de protección personal inteligentes que pueden recolectar datos se utilicen de forma adecuada, quienes lo utilizan deben estar debidamente informados sobre la finalidad del uso de los datos (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).

Un hallazgo encontrado en la literatura consultada, hace referencia a la percepción del trabajador ante una invasión de privacidad debido el constante monitoreo de variables a través de los dispositivos ponibles, lo que puede acarrear resistencia del personal ante estas nuevas tecnologías. En este sentido, la OIT (2025) aborda este tema señalando que

las herramientas inteligentes de seguridad y salud en el trabajo y los sistemas de vigilancia, incluidos los sensores y los dispositivos ponibles basados en inteligencia artificial, permiten la detección de peligros en tiempo real, la evaluación predictiva de riesgos y la adopción de medidas de seguridad proactivas. Velar por la facilidad de uso, la adaptación adecuada a los distintos tipos de trabajadores, la protección de la

privacidad y la prevención del estrés derivado de la vigilancia continua son retos fundamentales que es preciso abordar (p. 8).

Ante esta preocupación, la European Agency for Safety and Health at Work(2025) plantea que es necesario informar de manera transparente al personal y a sus representantes sobre cómo funcionan estos sistemas y cuáles son las repercusiones que les afectan. Frente a estas consideraciones, esta investigación concuerda con las recomendaciones realizadas por Gazcón Ochoa (2024) al indicar que “las empresas que adopten inteligencia artificial desarrollen un marco ético robusto y una política de gestión de datos clara que aborde las preocupaciones relacionadas con la privacidad y la protección de datos personales” (p.95).

Desde esta perspectiva, las normativas en los países Latinoamericanos deben actualizarse al compás con el que evolucionan los sistemas inteligentes para evitar estos sesgos.

Conclusiones

El uso de tecnologías inteligentes y su aplicación a la seguridad y salud en el trabajo es una necesidad en la minería moderna, aportando soluciones tangibles a los nuevos retos trazados en este sector: sostenibilidad y gobernanza.

Este análisis documental responde a la pregunta de investigación en dos campos de estudios, pero que se complementan el uno del otro. El primero, relacionado con el desarrollo de nuevos materiales inteligentes. Estos materiales han dado origen a equipos de protección personal que cambian sus propiedades dependiendo de las condiciones ambientales del trabajador, otorgándole mayor protección sin perder el grado de comodidad.

El segundo campo de estudio, se refiere a la incorporación de dispositivos electrónicos ponibles wearables en los equipos de protección personal. Ante estas innovaciones, se ha elevado el nivel de seguridad, ya que la implementación de estos sistemas de monitoreo del entorno laboral del trabajador y vigilancia continua permiten predecir la ocurrencia de futuros accidentes a través de alertas tempranas, generalmente, desarrollados por sistemas digitales de inteligencia artificial.

Los casos destacados en el uso de estas innovaciones en la minería Latinoamericana reflejan una de las limitantes de los equipos de protección personal inteligentes: su elevado costo en comparación con los equipos de protección personal tradicionales. Los ejemplos presentados demuestran que en la región son utilizadas por la minería a gran escala en aquellas empresas que cuentan incluso con operaciones mineras en diferentes países. De este modo, el intercambio de experiencias entre los países con fuerte actividad minera en América Latina es esencial al invertir y poner en práctica estas nuevas tecnologías.

Las implicaciones en la recolección de datos mediante el uso de equipos de protección personal inteligentes, crea una percepción de desconfianza por parte del trabajador sobre su privacidad y el uso que se le dan a los datos. Por consiguiente, este estudio recomienda crear principios éticos empresariales al implementar sistemas inteligentes de monitoreo y vigilancia. Adicional, los países

deben desarrollar nuevos marcos regulatorios con disposiciones específicas en la protección de la información en el campo de la seguridad ocupacional que se ajusten a las tendencias tecnológicas a la cual gira la industria 4.0.

Referencias

- Andes Pacific Technology Access. (2021). *Minería del futuro para una operación inteligente y sustentable*. <https://www.ovtt.org/wp-content/uploads/2021/09/Mineria-del-futuro-final.pdf>
- Anglo American. (2025). *Los nuevos caminos de una mina digital*. <https://peru.angloamerican.com/innovacion/future-smart-mining/los-nuevos-caminos-de-una-mina-digital.aspx>
- Aymant, A., Hassan, A. & Salim, K. (2024). *Smart hearing protection device*. <https://patentimages.storage.googleapis.com/d8/0c/f2/e456a8a49120d3/US12144707.pdf>
- Azhari, F., Sennersten, Ch., Lindley, C. & Sellers, E. (2023). Deep learning implementations in mining applications: a compact critical review. *Artificial Intelligence Review* 56, 14367-14402. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10500-9>
- Bazan Huapaya, L. & Tenorio Bernabel, C. (2024). *Plan estratégico de marketing para una empresa de venta de EPP en el sector de minería*. [Tesis de grado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://n9.cl/ybjdh>
- BHP. (2024). *Artificial intelligence is unearthing a smarter future*. <https://www.bhp.com/news/bhp-insights/2024/08/artificial-intelligence-is-unearthing-a-smarter-future>
- Cámara Minera de México. (2024). *Informe de sostenibilidad 2024*. CAMIMEX. https://camimex.org.mx/sostenibilidad2024/INFORME_DE_SOSTENIBILIDAD_2024.pdf
- Ccallata Gómez, M. & Ayala Puma, M. (2025). *Optimización del control de ingeniería para la reducción del ruido en el motor de la mezcladora de concreto en la empresa constructora del Sur, Arequipa 2024*. [Tesis de grado]. Universidad Tecnológica del Perú. <https://repositorio.utp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/3cc892e4-276d-4356-8bb7-88b96d09c5f9/content>
- Che Nafiah, A., Kamaruding, M., Zuhairi, A., Norizlanin, N. & Ghazali, N. (2025). GeoStride: GPS-Integrated Safety Boots. *Innovation in action: Turning ideas into reality*, 16-20. <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/119378/1/119378.pdf>
- Codelco. (2019). *Refinería de Chuquicamata aplica técnica de inteligencia artificial*. <https://www.codelco.com/operaciones/chuquicamata/noticias/refineria-de-chuquicamata-aplica-tecnica-de-inteligencia-artificial>
- Codelco. (2021). *Transformación digital*. <https://n9.cl/p8h2t>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2023). *Panorama de los recursos naturales en América Latina y el Caribe 2023*. <https://n9.cl/kiycx>
- Cuevas Bonilla, H., Parra Fino, F., & Sánchez Hernández, A. (2024). *Caracterización de la accidentalidad laboral en el proceso de minería subterránea de carbón: una revisión de alcance*. [Tesis de grado]. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/afd3f283-da34-4f26-946b-d04ce199c7ba/content>

- Da Silva, C. & Da Silva, J. (2022). Utilidade de vestíveis tecnológicos na mineração. Brazilian Journal of Development [Use of computational wearables in mining industry]. *Brazilian Journal of Development*, 8(12), 78789-78809. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-129>
- European Agency for Safety and Health at Work. (2022). *Equipos de Protección individual inteligentes: Protección inteligente de cara al futuro*. <https://n9.cl/b407f3>
- European Agency for Safety and Health at Work. (2025). *Sistemas digitales inteligentes para mejorar la seguridad y la salud en el trabajo*. <https://healthy-workplaces.osha.europa.eu/es/publications/smart-digital-systems-better-safety-and-health-work>
- Fajardo López, D., Fracica González, Y., Alarcón Sierra, I., Rincón Romero, P., Rico Pillajo, L. & Jiménez Sánchez, Y. (2024). Inteligencia artificial a la seguridad y salud en el trabajo, revisión narrativa de la literatura. *Revista Investigación en Salud Universidad de Boyacá*. <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/rs/article/download/1129/1060>
- Gazcón Ochoa, L. (2024). *Tecnologías basadas en Inteligencia Artificial aplicadas a la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo: Estado de Arte*. [Tesis de grado]. Universidad Industrial de Santander. <https://n9.cl/iy6xd>
- Gutiérrez Durán, J. & Pérez Contreras, L. (2022). *Evaluación del riesgo por estrés térmico y su mitigación mediante textiles inteligentes para vestuario de trabajadores en minería subterránea*. [Tesis de grado]. Universidad Francisco de Paula Santander. <https://n9.cl/bkhac0>
- International Energy Agency [IEA]. (2022). *The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions*. IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- Martínez Neira, G. (2021). *Implementación y uso del Smart cap o vincha inteligente en los conductores de camiones mineros para reducir incidentes por fatiga*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería. https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/22789/1/martinez_ng.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Política Nacional Minera 2050*. Ministerio de Minería [Chile]. <https://n9.cl/ninhp8>
- Molina, J., Soto, D., Vallejo, L. Torero, J., Lopez, S., Molina, A., Ortiz, A. (2023). IA y nuevas tecnologías aplicadas a la seguridad minera. *Protección y Seguridad*, 69(Nº.411), 28-34. <https://ccs.org.co/wp-content/uploads/2024/01/IA-y-seguridad-minera-PS-411.pdf>
- Morales Oñate, J. (2024). *Optimización de la productividad en minería a través de la transformación digital: Un análisis de nuevos modelos de trabajo, regulación, y estandarización para la adopción exitosa de tecnología*. [Tesis de Maestría]. Universidad de Chile. <https://n9.cl/kmqno>
- OIT. (2019). *Seguridad y salud en el centro del futuro del trabajo*. <https://n9.cl/5qfl3e>

- Organización Internacional del Trabajo. (2024). *Seguridad y Salud en el trabajo*. <https://www.ilo.org/es/temas-y-sectores/seguridad-y-salud-en-el-trabajo>
- OIT. (2025). *Revolución de la seguridad y la salud: Papel de la IA y la digitalización en el trabajo*. Organización Internacional del Trabajo. <https://n9.cl/cehnew>
- Padilla De la Cruz, E. (2025). *Avances tecnológicos en ingeniería aplicada a la salud ocupacional y su impacto en la prevención de riesgos: una revisión sistemática*. https://www.researchgate.net/profile/Ever-Padilla-De-La-Cruz/publication/389652111_Avances_tecnologicos_en_ingenieria_aplicada_a_la_salud_ocupacional_y_su_impacto_en_la_prevencion_de_riesgos_-_una_revision_sistemica/links/67cb364f32265243f5836abd/Avances-tecnologicos-en-ingenieria-aplicada-a-la-salud-ocupacional-y-su-impacto-en-la-prevencion-de-riesgos-una-revision-sistemica.pdf
- Peñoles. (2021). *Tecnología e Innovación*. <https://www.penoles.com.mx/nuestro-grupo/nuestra-estrategia/tecnologia-e-innovacion.html>
- Peñoles. (2023). *Profundizando en nuestro proceso de transformación para fortalecer el desempeño. Informe anual 2023*. <https://n9.cl/5hn0u>
- Portal Minero. (2025). *La Revolución de la Inteligencia Artificial en la Minería*. <https://www.portalminero.com/wp/la-revolucion-de-la-inteligencia-artificial-en-la-mineria/>
- Salamanca Galvis, L. (2024). *Elementos de protección personal (EPP) inteligentes: 'gadgets' del trabajador 4.0*. <https://ccs.org.co/portfolio/elementos-de-proteccion-personal-epp-inteligentes-gadgets-del-trabajador-4-0/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2024). *Accidentabilidad Minera*. <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2025/02/Presentacion-Accidentabilidad-2024.pdf>
- Valero Sánchez, L. (2025). *Minería subterránea moderna*. [Tesis de grado]. Universidad de Cantabria. https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/35957/2025_ValeroSanchezL.pdf?sequence=1
- Younes, B. (2023). Smart E-textiles: A review of their aspects and applications. *Journal of Industrial Textiles*, 53(1), 1-23. <https://doi.org/10.1177/15280837231215493>
- Zihao, C., Jialin, L., Yehu, L., Bifei, C. & Wenfang Song (2020). *Smart Wireless charging heating insoles: Improving body thermal comfort of young males in a extremely cold environment*. <https://doi.org/10.1177/0887302X20973960>