

**Artificial intelligence for occupational risk prevention in the mining sector. systematic review**

**Inteligencia artificial para la prevención de riesgos laborales en el Sector minero. revisión sistemática**

**Autores:**

Jiménez-Cañar, Jimmy Alexander  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
Cuenca – Ecuador



[jimmy.jimenez.04@est.ucacue.edu.ec](mailto:jimmy.jimenez.04@est.ucacue.edu.ec)



<https://orcid.org/0009-0002-2145-7053>

Garate-Aguirre, Juan Carlos  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
Ing en procesos, Ph.D. en Ciencias  
Cuenca – Ecuador



[jgaratea@ucacue.edu.ec](mailto:jgaratea@ucacue.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-9761-2673>

Fechas de recepción: 11-MAR-2026 aceptación:26-MAR-2026 publicación: 31-MAR-2026



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigiar.com/>

## Resumen

Este artículo analiza el potencial de la inteligencia artificial (IA) como herramienta para la prevención de riesgos laborales en el sector minero mediante una revisión sistemática exploratoria de literatura reciente (2021–2026). La búsqueda se realizó en ScienceDirect, seleccionada por su pertinencia para recuperar literatura científica en áreas de ingeniería, minería, seguridad y salud ocupacional, así como por la calidad y el rigor de las revistas indexadas en esta base de datos. Para la selección de los estudios, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión. Como resultado, se incluyeron 24 artículos, con predominio de publicaciones en inglés y procedentes principalmente de China. Los hallazgos muestran que la IA se aplica en ámbitos críticos como seguridad operacional y transporte, geotecnia, alerta temprana, condiciones ambientales y ventilación. La evidencia destaca que su efectividad depende de la calidad e interoperabilidad de datos, el tratamiento de datos desbalanceados, la interpretabilidad de los modelos y la integración con protocolos operativos. En conjunto, la IA favorece enfoques preventivos más proactivos, aunque persisten desafíos para estandarizar métricas de impacto y consolidar su adopción ética y sostenible en la gestión de SSO minera.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial; Seguridad y salud en el trabajo; Minería; Prevención de riesgos laborales; revisión sistemática

## Abstract

This article analyzes the potential of artificial intelligence (AI) as a tool for occupational risk prevention in the mining sector through an exploratory systematic review of recent literature (2021–2026). The search was conducted in ScienceDirect, selected for its relevance in retrieving scientific literature in the fields of engineering, mining, and occupational safety and health, as well as for the quality and rigor of the journals indexed in this database. Inclusion and exclusion criteria were applied for study selection. As a result, 24 articles were included, predominantly in English and originating mainly from China. The findings show that AI is applied in critical areas such as operational safety and transportation, geotechnics, early warning, environmental conditions, and ventilation. The evidence highlights that its effectiveness depends on data quality and interoperability, the handling of imbalanced data, model interpretability, and integration with operational protocols. Overall, AI supports more proactive preventive approaches, although challenges remain in standardizing impact metrics and consolidating its ethical and sustainable adoption in mining HSE management.

**Keywords:** Artificial intelligence; Occupational safety and health; Mining; Occupational risk prevention; systematic review

## Introducción

La seguridad y salud en el trabajo (SST) constituye un eje fundamental en el sector minero, ya que esta actividad se desarrolla en entornos de alta peligrosidad donde convergen riesgos técnicos, ambientales, geotécnicos y organizacionales que pueden comprometer gravemente la integridad de los trabajadores. La operación con maquinaria pesada, la exposición a polvo, ruido y gases, la inestabilidad del terreno y las exigencias productivas hacen que la minería continúe siendo una de las actividades con mayores desafíos en materia preventiva. Por ello, la gestión de riesgos laborales no solo requiere identificar peligros, sino también anticipar incidentes y monitorear de manera continua las condiciones inseguras antes de que se conviertan en accidentes mayores (Andrade & Aguirre, 2021; Heinrich, 1931).

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha adquirido creciente relevancia como una herramienta con alto potencial para fortalecer la prevención de riesgos en minería. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos, reconocer patrones y emitir alertas tempranas ha favorecido su incorporación en distintas áreas de la gestión preventiva. La literatura reporta aplicaciones orientadas a la predicción de fallas geotécnicas, el monitoreo ambiental en tiempo real, la detección automatizada de eventos peligrosos y la capacitación mediante simulaciones inmersivas, contribuyendo así a mejorar la toma de decisiones, reducir la exposición de los trabajadores a tareas de alto riesgo y fortalecer la respuesta ante situaciones críticas (Sakellariou & Ferentinou, 2005; Kusiak, 2006; Rennie et al., 2009; Grabowski & Jankowski, 2015; Zavarce, 2023; Scorgie et al., 2024).

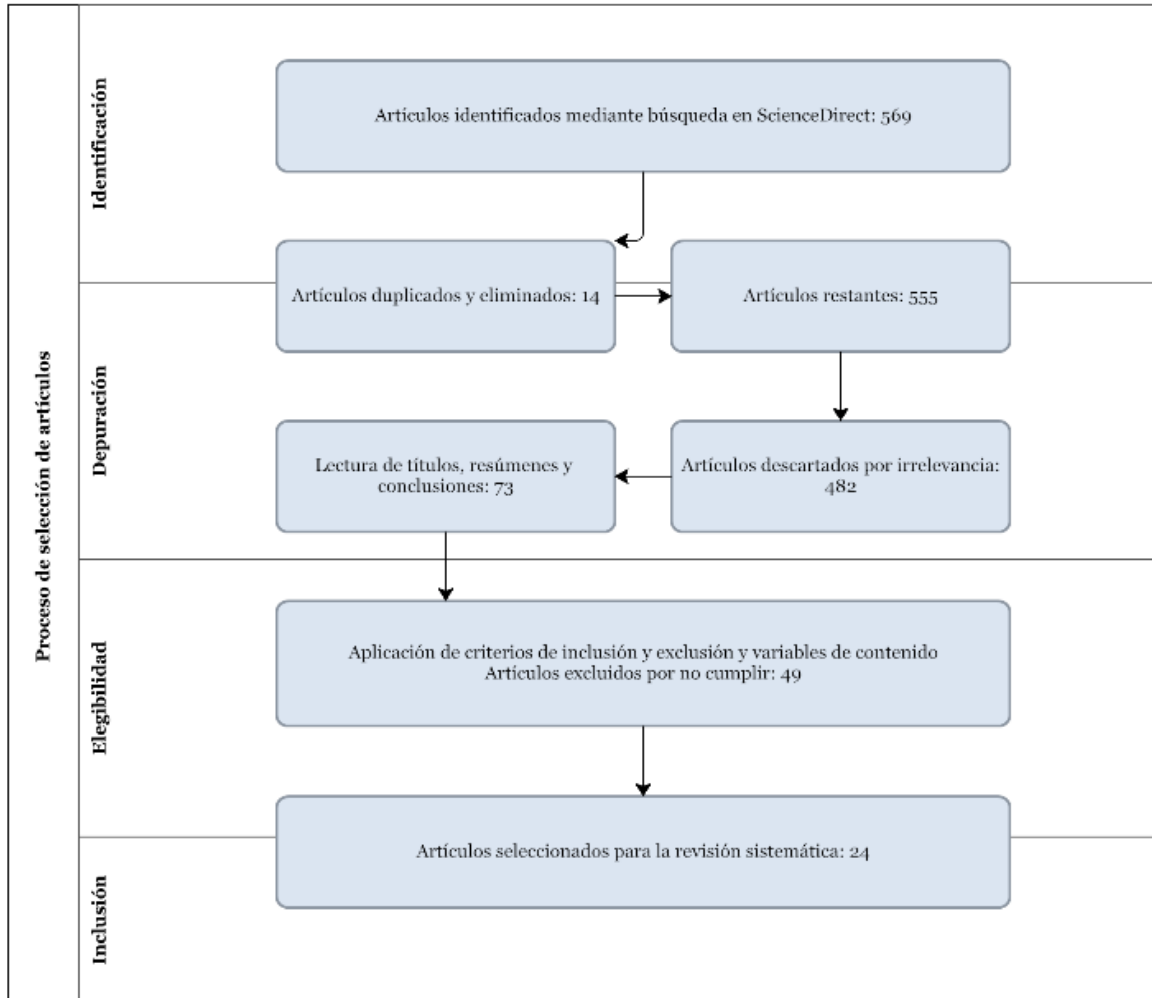
No obstante, la implementación de IA en el sector minero también plantea desafíos éticos, legales y operativos. Entre ellos destacan las preocupaciones relacionadas con la privacidad, el uso de datos, la autonomía de los trabajadores, la disponibilidad de infraestructura tecnológica y la necesidad de formación especializada para su correcta adopción (Barroso & Pérez, 2024; Reyes, 2023). En consecuencia, el debate actual no se limita a reconocer que la IA puede contribuir a la prevención de riesgos laborales, sino que se orienta a comprender de qué manera puede integrarse de forma técnica, ética y eficiente en contextos mineros diversos. En este marco, el presente artículo tiene como objetivo analizar el potencial de los sistemas de inteligencia artificial como herramienta para la prevención de riesgos laborales en el sector minero, a partir de una revisión sistemática de literatura reciente e identificando lineamientos para su implementación responsable.

## Material y métodos

El estudio se desarrolló mediante una revisión sistemática exploratoria, siguiendo las directrices de la metodología Prisma, con el propósito de sintetizar la evidencia científica disponible sobre el uso de sistemas de inteligencia artificial en la prevención de riesgos laborales en el sector minero. Este enfoque permitió integrar distintos diseños de estudio, describir el estado actual del conocimiento e identificar vacíos para futuras investigaciones. Se incluyeron artículos publicados entre 2021 y 2026, en inglés y español, priorizando estudios originales y revisados por pares que abordaran la implementación de la IA en la gestión de seguridad y salud ocupacional en minería. Se consideraron investigaciones con enfoques cualitativos y cuantitativos, y se excluyeron estudios no relacionados directamente con la prevención de riesgos laborales en minería, así como artículos sin revisión por pares y reportes técnicos sin base empírica.

La búsqueda de información se realizó en ScienceDirect, seleccionada por su cobertura en ingeniería, minería, tecnologías aplicadas y seguridad y salud ocupacional, así como por la calidad científica de las revistas indexadas. La recuperación documental se basó en una estrategia de búsqueda estructurada con términos controlados y palabras clave en inglés. Se emplearon combinaciones como ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning") AND ("Risk Assessment" OR "Risk Prevention" OR "Hazard Identification") AND ("Mining Industry") y ("Artificial Intelligence" OR "Predictive Models") AND ("Accident Prevention" OR "Safety Management") AND ("Mining"), orientadas a identificar estudios sobre evaluación de riesgos, modelos predictivos y gestión de la seguridad en minería. Como resultado de esta estrategia de búsqueda, se identificaron 569 artículos, de los cuales se eliminaron 14 registros duplicados, quedando 555 para la fase de revisión. Luego, mediante la lectura de títulos, resúmenes y conclusiones, se excluyeron 482 artículos por irrelevancia. En la fase de elegibilidad, se evaluaron 73 estudios, de los cuales 49 fueron descartados por no cumplir con los criterios de inclusión y exclusión definidos, conformándose así una muestra final de 24 artículos. De estos estudios se extrajeron variables metodológicas, como el objetivo y el diseño de investigación, así como variables de contenido vinculadas con las estrategias de implementación de la IA en SSO, los ámbitos de aplicación en la minería, el impacto en la reducción de riesgos laborales y los factores que influyen en la efectividad de la IA en SSO.

**Figura 1.**  
Proceso de selección de artículos



Fuente: Elaboración propia

## Resultados

Los resultados muestran un total de 24 artículos indexados en ScienceDirect, centrados en la aplicación de la inteligencia artificial a la prevención de riesgos laborales en minería. Los estudios proceden de 9 países, con un claro predominio de China, seguida por Australia e Irán, lo que evidencia una mayor concentración de esta línea de investigación en contextos con fuerte desarrollo tecnológico minero. En conjunto, los resultados reflejan un creciente interés internacional por integrar enfoques analíticos y tecnologías inteligentes en la gestión

de la seguridad minera. A continuación, se presentan los artículos seleccionados, considerando su objetivo y diseño de estudio como aspectos relevantes para el análisis.

Tabla 1.  
Descriptivo de objetivos y diseños de estudio

Nº	Autor y año	Objetivo	Diseño del estudio	Tecnología	Principales hallazgos
1	Li et al. (2022)	Evaluar el uso de big data en la toma de decisiones	Revisión sistemática	Big Data	Se evidencia que el big data optimiza la toma de decisiones, aunque su aplicación práctica aún es limitada
2	Benson & Obasi (2025)	Predecir la severidad de lesiones	Estudio cuantitativo predictivo	Aprendizaje automático	Se demuestra alta precisión en la predicción de lesiones laborales
3	Gholamizadeh et al. (2023)	Analizar factores económicos y accidentes	Estudio cuantitativo predictivo	Aprendizaje automático	Se identifica una relación significativa entre factores económicos y accidentalidad
4	Li & Cai (2021)	Analizar avances en minería profunda	Revisión descriptiva	Minería inteligente	Se evidencia mejora en seguridad y eficiencia mediante automatización
5	Altındış & Bayram (2024)	Identificar causas de accidentes	Estudio cuantitativo retrospectivo	Minería de datos	Se identifican patrones críticos de riesgo en accidentes mineros
6	Li et al. (2025)	Implementar sistema de seguridad minera	Caso de estudio aplicado	Sistemas inteligentes	Se evidencia reducción significativa de incidentes

					mediante monitoreo en tiempo real
7	Li et al. (2025)	Identificar patrones de accidentes	Estudio cuantitativo	Aprendizaje automático	Se demuestra capacidad predictiva para la prevención de accidentes
8	Elhosary & Moselhi (2025)	Automatizar reportes HAZOP	Estudio comparativo aplicado	PLN	Se evidencia mejora en la identificación de peligros mediante automatización
9	Nobahar et al. (2024)	Analizar IA y gemelos digitales	Revisión integradora	Gemelos digitales	Se identifica alto potencial para optimizar seguridad y eficiencia
10	Wang et al. (2024)	Evaluar minería de minerales estratégicos	Revisión analítica	Minería inteligente	Se evidencian limitaciones tecnológicas en la producción
11	Zhong et al. (2025)	Evaluar estabilidad de taludes	Caso de estudio aplicado	Modelos predictivos	Se demuestra alta fiabilidad en la predicción de fallas geotécnicas
12	Guo et al. (2026)	Proponer arquitectura de IA	Revisión conceptual	IA multimodal	Se evidencia potencial para automatización minera avanzada
13	Song et al. (2024)	Analizar sistemas de alerta temprana	Revisión	IoT (Internet of Things) + IA	Se identifica falta de integración de datos como limitante
14	Isleyen et al. (2021)	Detectar riesgos geotécnicos	Estudio aplicado	Deep learning	Se evidencia alta precisión en detección de riesgos
15	Bian et al. (2026)	Analizar tecnologías mineras	Revisión	Tecnologías inteligentes	Se destaca su rol en sostenibilidad minera

16	Qin et al. (2025)	Predecir estallidos de roca	Estudio cuantitativo	Aprendizaje automático	Se mejora la identificación del riesgo geotécnico
17	Yang et al. (2024)	Analizar factores conductuales	Estudio teórico-analítico	Modelos conductuales	Se evidencia influencia de factores humanos en la seguridad
18	Liu et al. (2024)	Evaluar tecnologías inteligentes	Revisión analítica	Automatización	Se evidencia transición hacia minería digital
19	Lee et al. (2022)	Analizar cascos inteligentes	Revisión sistemática (PRISMA)	Wearables	Se demuestra mejora en monitoreo de seguridad
20	Cao et al. (2026)	Analizar subsidencia minera	Caso de estudio aplicado	Monitoreo inteligente	Se mejora la predicción de subsidencia
21	Li et al. (2026)	Evaluar factores psicosociales	Revisión sistemática	Tecnologías emergentes	Se evidencia impacto condicionado por la gestión organizacional
22	Brodny et al. (2022)	Predecir riesgo de metano	Caso de estudio aplicado	Modelo neurodifuso	Se mejora la toma de decisiones en seguridad
23	Shu et al. (2023)	Evaluar riesgo térmico	Caso de estudio aplicado	Modelos multiindicador	Se evidencia alta precisión en evaluación de riesgos
24	Badakhshan et al. (2025)	Optimizar producción minera	Estudio aplicado	IA + IoT(Internet of Things)	Se optimiza la eficiencia operativa y reducción de costos

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la tabla 1. muestran que la investigación sobre inteligencia artificial aplicada a la prevención de riesgos laborales en minería se concentra principalmente en estudios cuantitativos aplicados, retrospectivos y de caso, complementados por revisiones de alcance, sistemáticas y descriptivo-analíticas que permiten mapear tendencias tecnológicas y desafíos emergentes. En conjunto, los estudios evidencian un claro predominio de enfoques orientados al desarrollo, validación y evaluación de modelos predictivos, sistemas inteligentes de monitoreo y marcos analíticos para apoyar la toma de decisiones en seguridad

minera. Entre los principales hallazgos destacan el uso eficaz de algoritmos como Random Forest, CatBoost, modelos neurodifusos, aprendizaje profundo, procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje por refuerzo, los cuales han demostrado utilidad para predecir la gravedad de lesiones, accidentes, riesgo de metano, estallidos de roca, subsidencia y condiciones termo-higrométricas, así como para optimizar la gestión operativa y fortalecer los sistemas de alerta temprana. Asimismo, las revisiones identifican un avance sostenido hacia una minería más inteligente, automatizada y no tripulada, mediante tecnologías como gemelos digitales, modelos multimodales, IoT, cascos inteligentes, monitoreo geotécnico autónomo y topografía minera avanzada. No obstante, también se observa que gran parte de estas propuestas aún enfrenta limitaciones relacionadas con la validación práctica, la integración y estandarización de datos, la infraestructura tecnológica, las brechas de habilidades, y la influencia de factores humanos, económicos y psicosociales, lo que indica que la efectividad de estas tecnologías depende tanto de su desempeño técnico como de su adecuada implementación organizacional y contextual.

Tabla 2.  
 Descriptivo de variables de contenidos analizadas

Número	Autor y año	Variables			
		Estrategias de implementación de IA en SSO	Ámbitos de aplicación en la minería	Impacto en la reducción de riesgos laborales	Factores que influyen en la efectividad de la IA en SSO
1	Li et al. (2022)	X		X	X
2	Benson & Obasi (2025)		X	X	X
3	Gholamizadeh et al. (2023)	X		X	X
4	Li & Cai (2021)		X	X	X
5	Altındış & Bayram (2024)	X	X		X
6	Li et al. (2025)	X	X	X	X
7	Li et al. (2025)	X	X		X
8	Elhosary & Moselhi (2025)	X		X	X
9	Nobahar et al. (2024)	X	X		X
10	Wang et al. (2024)	X	X		X
11	Zhong et al. (2025)		X	X	
12	Guo et al. (2026)	X	X		X

13	Song et al. (2024)	X	X	X	X
14	Isleyen et al. (2021)	X	X		X
15	Bian et al. (2026)	X	X	X	X
16	Qin et al. (2025)	X	X	X	X
17	Yang et al. (2024)	X	X	X	X
18	Liu et al. (2024)	X	X		X
19	Lee et al. (2022)	X		X	X
20	Cao et al. (2026)		X	X	
21	Li et al. (2026)	X	X		X
22	Brodny et al. (2022)	X	X	X	X
23	Shu et al. (2023)		X	X	X
24	Badakhshan et al. (2025)	X	X		X

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la Tabla 2 revela que la mayoría de los estudios evaluados se concentran en tres variables principales vinculados con la aplicación de inteligencia artificial en seguridad y salud ocupacional (SSO) dentro del sector minero. En primer lugar, predominan los trabajos que analizan factores que influyen en la efectividad de la IA en SSO (22 de 24 estudios), destacando elementos como la calidad e integración de los datos, la confiabilidad de los sistemas, la capacitación del personal y la compatibilidad con los procesos de seguridad existentes. En segundo lugar, se observa un fuerte interés por los ámbitos de aplicación en la minería (20 de 24), evidenciando que las soluciones de IA se orientan a múltiples procesos y escenarios operativos. En tercer lugar, una proporción importante aborda estrategias de implementación de IA en SSO (19 de 24), lo que sugiere una preocupación por cómo adoptar estas tecnologías de forma organizada y viable. Finalmente, aunque con menor frecuencia, varios estudios también examinan el impacto en la reducción de riesgos laborales (15 de 24), resaltando el potencial de la IA para prevenir incidentes, mejorar la detección temprana de peligros y fortalecer la toma de decisiones preventivas en entornos mineros.

## Discusión

Los resultados muestran que la investigación reciente sobre inteligencia artificial (IA) aplicada a la seguridad y salud ocupacional (SSO) en minería se está consolidando desde un enfoque predominantemente tecnológico operativo, donde el valor principal de la IA se asocia con su capacidad para anticipar riesgos, automatizar la detección de condiciones peligrosas y apoyar decisiones preventivas. En conjunto, los estudios no se limitan a “probar algoritmos”, sino que tienden a vincularlos con procesos productivos específicos (operación, transporte, ventilación, estabilidad geotécnica, monitoreo ambiental, entre otros) y con los requisitos prácticos de implementación en campo.

### Estrategias de implementación de IA en SSO

Las estrategias de implementación de inteligencia artificial en seguridad y salud ocupacional muestran un enfoque sociotécnico, donde su efectividad depende no solo del desempeño de los algoritmos, sino también de la calidad de los datos, su integración con los procesos operativos y la aceptación organizacional. En esta línea, la literatura destaca el aporte del big data, la analítica y los modelos predictivos explicables para fortalecer la toma de decisiones preventivas y anticipar incidentes laborales a partir de información histórica y contextual (Li et al., 2022; Benson & Obasi, 2025; Gholamizadeh et al., 2023).

En el ámbito minero, la implementación de IA se orienta principalmente hacia sistemas integrados de monitoreo, análisis automatizado y alerta temprana, con el propósito de favorecer una gestión proactiva del riesgo. Asimismo, se observa un avance en el uso de herramientas de procesamiento del lenguaje natural, gemelos digitales y arquitecturas inteligentes capaces de transformar datos operativos en insumos para la identificación de peligros, la simulación de escenarios y la optimización de decisiones en seguridad (Li et al., 2025; Elhosary & Moselhi, 2025; Nobahar et al., 2024)

De igual manera, estos hallazgos evidencian que la implementación de IA en SSO requiere una articulación progresiva entre capacidades tecnológicas, gestión organizacional y objetivos preventivos. No se trata únicamente de incorporar herramientas digitales, sino de establecer condiciones que permitan su funcionamiento sostenible dentro de la operación, tales como infraestructura de datos, interoperabilidad entre sistemas, capacitación del personal y mecanismos de validación de resultados.

### Ámbitos de aplicación en la minería

Los ámbitos de aplicación de la inteligencia artificial en minería abarcan tanto procesos operativos como escenarios de alto riesgo, con una orientación marcada hacia la prevención, el monitoreo continuo y la optimización del desempeño. La evidencia muestra que su uso se concentra en la gestión de riesgos geotécnicos, especialmente en minería profunda y subterránea, donde contribuye a anticipar fenómenos críticos como estallidos de roca, caídas de techo, subsidencia y deformaciones del macizo, mediante modelos predictivos, monitoreo instrumental y enfoques interpretables que fortalecen la toma de decisiones en seguridad (LI & CAI, 2021; Isleyen et al., 2021; Qin et al., 2025; Cao et al., 2026)

De manera complementaria, la IA también se aplica en minas a cielo abierto y en entornos de minería inteligente, particularmente en la predicción de fallas de taludes, sistemas de alerta temprana y automatización del ciclo productivo. En estos contextos, se integran tecnologías como IoT, computación en la nube, aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo para mejorar la programación de producción, la gestión de flotas y la respuesta ante desastres mineros, evidenciando una expansión de la IA desde la seguridad operacional hacia la planificación y el control de operaciones (Zhong et al., 2025; Song et al., 2024; Badakhshan et al., 2025; Liu et al., 2024).

Asimismo, se identifican aplicaciones dirigidas a la gestión de riesgos ambientales y de ventilación, como el pronóstico del riesgo de metano y la evaluación de condiciones térmico-húmedas en frentes de trabajo, lo que amplía el alcance de la IA hacia la vigilancia de factores que inciden directamente en la salud y seguridad de los trabajadores (Brodney et al., 2022; Shu et al., 2023). En conjunto, estos hallazgos evidencian que los ámbitos de aplicación de la IA en minería se concentran en riesgos críticos y procesos estratégicos del ciclo productivo, consolidando su papel como herramienta clave para una minería más segura, automatizada e inteligente.

### Impacto en la reducción de riesgos laborales

El impacto de la inteligencia artificial en la reducción de riesgos laborales se evidencia, principalmente, en su capacidad para anticipar peligros, detectar patrones de accidentabilidad y fortalecer la toma de decisiones preventivas en operaciones mineras. A partir del análisis de grandes volúmenes de datos, la IA permite estimar la severidad de lesiones, identificar variables asociadas a la ocurrencia de incidentes y generar información útil para orientar intervenciones más oportunas y focalizadas, lo que mejora la gestión preventiva en seguridad y salud ocupacional (Li et al., 2022; Benson & Obasi, 2025; Gholamizadeh et al., 2023). Asimismo, su integración en sistemas de monitoreo continuo y alerta temprana ha mostrado efectos relevantes en la detección de conductas inseguras, la prevención de fallas geotécnicas y la anticipación de eventos críticos como caídas de techo y estallidos de roca, reduciendo la dependencia exclusiva de la supervisión manual (Li et al., 2025; Zhong et al., 2025; Isleyen et al., 2021; Qin et al., 2025).

De igual manera, la IA contribuye a la reducción de riesgos mediante el control de condiciones ambientales que inciden directamente en la seguridad y salud de los trabajadores. Los modelos aplicados al pronóstico del riesgo de metano fortalecen la gestión de la ventilación y la prevención de incidentes asociados a gases, mientras que la evaluación del riesgo térmico-húmedo permite priorizar medidas correctivas en frentes de trabajo con mayor exposición (Brodny et al., 2022; Shu et al., 2023). En conjunto, la evidencia indica que el impacto de la IA es más significativo cuando su implementación forma parte de un sistema preventivo integral, en el que los resultados predictivos se traducen en acciones operativas concretas, sustentadas en datos confiables y validadas en condiciones reales de operación.

### Factores que influyen en la efectividad de la IA en SSO

La efectividad de la inteligencia artificial en seguridad y salud ocupacional depende, en gran medida, de la calidad, disponibilidad e integración de los datos, ya que su valor preventivo se fortalece cuando dispone de información consistente, estandarizada y adecuadamente procesada. En este sentido, la literatura señala que tanto el uso de big data industrial como los registros históricos de accidentes e incidentes condicionan el rendimiento de los modelos, de modo que la completitud, coherencia y estructura de los datos influyen directamente en su utilidad práctica para la prevención de riesgos (Li et al., 2022; Benson & Obasi, 2025; Altındış & Bayram, 2024; Li et al., 2025).

Asimismo, la efectividad también está determinada por factores metodológicos, humanos y tecnológicos. La selección del algoritmo, la capacidad de generalización del modelo y el tratamiento de problemas como el desbalance de clases resultan decisivos en la predicción de eventos críticos, especialmente cuando se trata de accidentes severos poco frecuentes (Gholamizadeh et al., 2023; Li et al., 2025; Qin et al., 2025). A ello se suman la interpretabilidad, la confianza del usuario y la integración operativa, aspectos esenciales para favorecer la adopción de la IA en contextos de SSO, donde las alertas y predicciones deben ser comprensibles y aplicables en la práctica. Del mismo modo, la interoperabilidad entre plataformas y la articulación con tecnologías complementarias, como IoT, computación en la nube y gemelos digitales, amplían el potencial de la IA para consolidar sistemas preventivos más completos y efectivos (Benson & Obasi, 2025; Isleyen et al., 2021; Yang et al., 2024; Song et al., 2024; Nobahar et al., 2024; Liu et al., 2024).

## Conclusiones

Los hallazgos del análisis de los 24 estudios muestran que la investigación sobre inteligencia artificial (IA) aplicada a la seguridad y salud ocupacional (SSO) en minería se concentra, principalmente, en comprender qué condiciones permiten que la IA sea efectiva, más que en medir de forma homogénea su impacto final. Esto se evidencia en la alta presencia de la variable “factores que influyen en la efectividad” y en la atención a marcos y estrategias de implementación. En conjunto, la literatura coincide en que la IA aporta valor cuando se integra a la prevención como un soporte para decisiones basadas en datos, especialmente en contextos de alta criticidad operativa.

No obstante, si se desea profundizar en el campo de estudio, resulta recomendable ampliar el alcance de la investigación más allá de los límites establecidos en esta revisión, incorporando estudios de otros sectores industriales, diferentes contextos geográficos y enfoques metodológicos diversos. Esta expansión permitiría contrastar resultados, identificar patrones comunes y evaluar con mayor precisión el impacto real de la IA en la mejora de la seguridad y salud ocupacional, contribuyendo así a una comprensión más integral y generalizable del fenómeno.

Respecto a los ámbitos de aplicación, la evidencia confirma que la IA se emplea en procesos clave del ciclo minero, destacando la prevención de eventos severos mediante monitoreo y alerta temprana (geotecnia, gases, ambiente de trabajo), así como el análisis predictivo de accidentes y la seguridad operacional (p. ej., transporte y operación). Estas aplicaciones muestran una tendencia hacia sistemas más integrados, donde sensores, plataformas digitales y modelos avanzados permiten identificar condiciones peligrosas con mayor anticipación, fortaleciendo la capacidad de intervención oportuna en campo.

Finalmente, aunque varios estudios reportan contribuciones en términos de prevención, el impacto en la reducción de riesgos laborales aún presenta variabilidad por diferencias metodológicas, métricas y tiempos de evaluación. Por ello, se concluye que el avance del campo requiere fortalecer la estandarización e interoperabilidad de datos, incorporar evaluaciones de impacto más comparables (antes/después y con indicadores consistentes) y consolidar la confianza del usuario mediante interpretabilidad. En síntesis, la IA en SSO minera muestra alto potencial, pero su efectividad sostenida depende de la calidad de datos, la integración operativa y la capacidad organizacional para convertir predicciones en acciones preventivas reales.

## Referencias bibliográficas

- Altindiş, B., & Bayram, F. (2024). Data Mining Implementations for Determining Root Causes and Precautions of Occupational Accidents in Underground Hard Coal Mining. *Safety and Health at Work*, 15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.shaw.2024.09.003>
- Andrade, B., & Aguirre, G. (21 de 10 de 2021). Propuesta documental de una guía para la implementación de un sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional para empresas mineras en el Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4436>
- Badakhshan, N., Bakhtavar, E., Shahriar, K., Khosravi, H., Afraei, S., & Ben-Awuah, E. (2025). Unmanned mining fleet Management: A Multi-Objective framework integrating deep reinforcement learning and Internet of Things. *Expert Systems with Applications*, 287. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.128238>
- Barroso, C., & Pérez, E. (2024). Desafíos éticos y legales en el uso de la inteligencia artificial (IA). *S*, 8(14). Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/sintaxis/n14/2594-1682-sintaxis-14-102.pdf>
- Benson, C., & Obasi, I. C. (2025). An explainable machine learning framework for predicting injury severity in extractive industry accidents. *Results in Engineering*, 28(107552). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107552>.
- Bian, Z., Zhang, Q., Tong, R., Zheng, N., & Preusse, A. (2026). Mine surveying science and technology for contemporary and future mining industries. *International Journal of Mining Science and Technology*, 36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2025.12.010>
- Brodny, J., Felka, D., & Tutak, M. (2022). The use of the neuro-fuzzy model to predict the methane hazard during the underground coal mining production process. *Journal of Cleaner Production*, 368. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133258>
- Cao, D., Zhang, J., Li, M., Chen, B., Li, J., & Wu, X. (2026). Spatiotemporal correlation of multi-depth rock mass deformation and mining-induced subsidence: A case study of the Shagoucha Coal Mine. *Earthquake Research Advances*, 6(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eqrea.2025.100391>
- Corrigan, C., & Ikonnikova, S. (2024). A review of the use of AI in the mining industry: Insights and ethical considerations for multi-objective optimization . *The Extractive Industries and Society* , 17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101440>
- Elhosary, E., & Moselhi, O. (2025). Evaluating Natural Language Processing Algorithms for Improved Hazard and Operability Analysis. *Geodata and AI*, 4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoai.2025.100026>
- Gholamizadeh, K., Zarei, E., Yazdi, M., Rodrigues, M. A., shirmohammadi-Khorram, N., & Mohammadfam, I. (2023). An integration of intelligent approaches and economic criteria for predictive analytics of occupational accidents. *Decision Analytics Journal*, 9(100357). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100357>.
- Gómez, A. (2021). Seguridad y salud en el trabajo en Ecuador. *Seguridad y salud en el trabajo en Ecuador.*, 24(3), 232-239. Obtenido de <https://scielo.isciii.es/pdf/aprl/v24n3/1578-2549-aprl-24-03-232.pdf>

- Grabowski, A., & Jankowski, J. (2015). Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science*, 72, 310-314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.09.017>
- Guo, Z., Liu, G., Chai, S., Liu, W., & Jiang, F. (2026). Implementation and intelligent path exploration of multimodal large model architecture for open-pit coal mine production. *Results in Engineering*, 29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109283>
- Guzman, G., Peñaranda, D., & Arrese, A. (2025). Desafíos en la implementación de soluciones de inteligencia artificial en el contexto empresarial del Ecuador. *Universidad y Empresas*, 27(49), 1-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.14917>
- Heinrich, H. W. (1931). *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*. (McGraw-Hill, Ed.) Obtenido de [https://www.academia.edu/1339314/Industrial\\_accident\\_prevention?auto=download](https://www.academia.edu/1339314/Industrial_accident_prevention?auto=download)
- Isleyen, E., Duzgun, S., & Carter, R. M. (2021). Interpretable deep learning for roof fall hazard detection in underground mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.09.005>
- Kusiak, A. (2006). Data mining: manufacturing and service applications. *International Journal of Production Research*, 44, 18-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00207540600632216>
- Lee, P., Kim, H., Zitouni, M. S., Khandoker, A., Jelinek, H. F., Hadjileontiadis, L., . . . Jeong, Y. (2022). Trends in Smart Helmets With Multimodal Sensing for Health and Safety: Scoping Review. *JMIR mHealth and uHealth*, 10(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/40797>
- Li, C., Chen, Y., & Shang, Y. (2022). A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Volume 29(101021). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.06.001>
- Li, K., Xia, M. (., & Bentley, T. (2026). The paradoxical effects of emerging mining technologies on psychosocial work factors: An integrated framework and research. *Technological Forecasting and Social Change*, 222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124391>
- LI, P., & CAI, M.-f. (2021). Challenges and new insights for exploitation of deep underground metal mineral resources. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(21\)65744-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1003-6326(21)65744-8)
- Li, T., Chang, B., Sun, Y., Zhou, Y., Zhou, B., & Zhang, L. (2025). Development and application of a generalized fatigue driving monitoring system for open-pit mining vehicles: A case study in a myanmar copper mine. *Results in Engineering*, 26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105206>
- Li, Y., Sanmiquel, L., Zhang, Z., Zhao, G., & Bascompta, M. (2025). Discovering the underground coal mining accident patterns in Spain from 2003 to 2021: Insights through machine learning techniques. *Safety Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106677>
- Liu, X., Zhang, X., Wang, L., Qu, F., Shao, A., Zhao, L., . . . He, J. (2024). Research progress and prospects of intelligent technology in underground mining of hard rock mines. *Green and Smart Mining Engineering*, 1(1), 12-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.03.007>

- MacBRIDE et al. (1993). Un solo mundo, voces múltiples. Fondo de Cultura Económica. Retrieved from <https://agmer.org.ar/index/wp-content/uploads/2014/05/Informe-MacBride-partel.pdf>
- Manchado, R., Tamames, S., López, M., Mohedano, L., D'Agostino, M., & Veiga, J. (2009). Revisión Sistemática Exploratoria. *Medicina y Seguridad del trabajo*, 55(216), 12-19. Retrieved from <https://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v55n216/especial.pdf>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador y Organización Panamericana de la Salud. (2022). Panorama nacional de salud de los trabajadores: Encuesta de condiciones de trabajo y salud, Ecuador 2021-2022. Ministerio de Salud Pública. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2022/05/Panorama-Nacional-de-Salud-de-los-Trabajadores-Encuesta-de-Condiciones-de-Trabajo-y-Salud-2021-2022.pdf>
- Naula, Z., Robles, N., & Campuzano, J. (2025). La inteligencia artificial en el sector grandes empresas de la provincia de El Oro-Ecuador, período 2023-2024. *Portal de la Ciencia*, 6(2), 247-261. <https://doi.org/https://doi.org/10.51247/pdlc.v6i2.536>
- Nobahar, P., Xu, C., Dowd, P., & Faradonbeh, R. S. (2024). Exploring digital twin systems in mining operations: A review. *Green and Smart Mining Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.09.003>
- Pérez, R., Sánchez, A., García, G., & Martínez, R. (2025). Artificial Intelligence in Ecuadorian SMEs: Drivers and Obstacles to Adoption. *Information*, 16(443). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/info16060443>
- Qin, C., Zhao, W., Chen, W., Zhang, X., & Xie, P. (2025). Prediction of rockburst risk induced by mine tremor using ensemble learning techniques. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2025.06.008>
- Rennie, K., James, S., & Ronald, C. (2009). Neural network modeling applications in active slope stability problems. *Environmental Earth Sciences*, 60(7), 1545-1558. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s12665-009-0290-3>
- Reyes, P. (2023). Reseña. Ética de la Inteligencia Artificial. Recomendación de la UNESCO, noviembre 2021. *Revista Científica Compendium*, 25(50). <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.10271852>
- Sakellariou, M., & Ferentinou, M. (2005). Estudio de la predicción de la estabilidad de taludes mediante redes neuronales. *Geotech Geol Eng*, 23(419-445). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-004-8680-5>
- Scorgie, D., Feng, Z., Paes, D., Parisi, F., Yiu, T., & Lovreglio, R. (2024). Virtual reality for safety training: A systematic literature review and. *Safety Science*, 171. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106372>
- Shu, H., Li, N., Dong, L., Luo, Q., & Sabao, A. R. (2023). Thermal humidity risk assessment in high-temperature environment of mines based on uncertainty measurement theory. *Case Studies in Thermal Engineering*, 50. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103401>
- Song, Z., Li, X., Huo, R., & Liu, L. (2024). Intelligent early-warning platform for open-pit mining: Current status and prospects. *Rock Mechanics Bulletin*, 3. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rockmb.2023.100098>
- Wang, Y., Chen, Q., Dai, B., & Wang, D. (2024). Guidance and review: Advancing mining technology for enhanced production and supply of strategic minerals in China. *Green and Smart Mining Engineering*, 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.03.005>

Yang, J., Yang, X., Chai, S., Ni, L., Wang, X., & Pan, L. (2024). Research on the mechanism of human-machine security collaboration of miners considering automation trust. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39456>

Zavarce, A. (19 de 05 de 2023). How AI can improve occupational safety in mining: The new frontier of risk prevention. Obtenido de Inspecnet: <https://inspenet.com/articulo/ia-en-la-mineria-y-la-prevencion-de-riesgos/>

Zhong, Z., Hu, B., Li, J., Sheng, J., & Wan, C. (2025). Impact of rainfall dry-wet cycles on slope deformation and landslide prediction in open-pit mines: A case study of Mohuandang Landslide, Emeishan, China. *Results in Engineering*, 26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105011>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.