






Protocolo de Respuesta a Emergencias por Intoxicación con Ácido Cianhídrico en el Área de Planta de Procesos en la Empresa Minera Aurelian Ecuador.

Emergency Response Protocol for Hydrogen Cyanide Poisoning in the Process Plant Area at Aurelian Ecuador Mining Company.

Héctor Vinicio Chugchilan Quimbita¹ 
hvchugchilan@itsoriente.edu.ec.
Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)
Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez² 
benjaminquito@bqc.com.ec
Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)
Riobamba, Ecuador

Segundo Martin Quito Cortez³ 
martinquito@bqc.com.ec
Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)
Riobamba, Ecuador

Recepción: 05-01-2026

Aceptación: 05-02-2026

Publicación: 30-03-2026

Como citar este artículo: Chugchilan, H. Quito, B. Quito, S. (2026). **Protocolo De Respuesta A Emergencias Por Intoxicación Con Ácido Cianhídrico En El Área De Planta De Procesos En La Empresa Minera Aurelian Ecuador.** *Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios*, 7 (1), pp. 842-879.

¹ *Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO); Maestrante en Herramientas de Seguridad Industrial y Salud en el Trabajo. (ITSO).*

² *Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.*

³ *Ingeniero Agrónomo (UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA), Magister en Desarrollo Local, Mención Planificación, Desarrollo y Ordenamiento Territorial (UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA); Doctor en Ciencias de la Educación (UNIVERSIDAD BICENTENARIA DE ARAGUA) VENEZUELA, Rector Instituto Superior Tecnológico CIC YASUNI Docente.*





Resumen

El presente artículo aborda el diseño e implementación de un protocolo de emergencias por intoxicación con ácido cianhídrico (HCN) en la planta de procesos de la empresa minera Aureliano Ecuador, con el objetivo de fortalecer las estrategias de prevención, respuesta y mitigación ante incidentes asociados al manejo de este compuesto altamente tóxico. El estudio parte del reconocimiento de los riesgos inherentes al uso del HCN en la lixiviación de metales preciosos, donde una exposición no controlada puede ocasionar consecuencias fatales para los trabajadores y graves impactos ambientales. Ante la ausencia de protocolos específicos y actualizados en la minería ecuatoriana, surge la necesidad de establecer un modelo operativo basado en normativas nacionales e internacionales de seguridad industrial. La metodología aplicada fue cualitativa, sustentada en una revisión bibliográfica que recopiló información técnica, legal y científica proveniente de artículos indexados, normas ISO, guías del International Cyanide Management Code y regulaciones del Ministerio del Trabajo y del Ambiente de Ecuador. A partir del análisis se diseñaron procedimientos estandarizados que incluyen la detección temprana de fugas, la evacuación segura del personal, la aplicación de antidotos y la coordinación interinstitucional con organismos de socorro. Los resultados evidencian que un protocolo formalmente estructurado mejora la capacidad de respuesta del personal, reduce la exposición a concentraciones críticas de HCN y optimiza el manejo de emergencias médicas. Además, se identificó que la capacitación continua, el uso adecuado de equipos de protección personal, y la instalación de sistemas de monitoreo ambiental son factores determinantes en la reducción del riesgo operativo.

Palabras claves: Protocolo, Seguridad, Intoxicación, Minería, Gestión del riesgo.

Abstract

This article addresses the design and implementation of an emergency protocol for hydrogen cyanide (HCN) poisoning at the processing plant of the mining company Aureliano Ecuador, with the aim of strengthening prevention, response, and mitigation strategies for incidents associated with the handling of this highly toxic compound. The study is based on the recognition of the risks inherent in the use of HCN in the leaching of precious metals, where uncontrolled exposure can have fatal consequences for workers and serious environmental impacts. In the absence of specific and updated protocols in Ecuadorian mining, there is a need to establish an operational model based on national and international industrial safety regulations. The methodology applied was qualitative, based on a literature review that compiled technical, legal, and scientific information from indexed articles, ISO standards, International Cyanide Management Code guidelines, and regulations from the Ecuadorian Ministry of Labor and Environment. Based on the analysis, standardized procedures were designed that include early leak detection, safe evacuation of personnel, application of antidotes, and inter-institutional coordination with emergency response agencies. The results show that a formally structured protocol significantly improves staff responsiveness and decision-making capacity during emergency situations, reduces exposure to critical concentrations of hydrogen cyanide (HCN), and optimizes the overall management of medical and operational emergencies. In addition, ongoing and specialized training programs, the proper and consistent use of personal protective equipment (PPE), and the installation of real-time environmental monitoring systems equipped with automated alarms were identified as key factors in





reducing operational risk. **Keywords:** Protocol, Safety, Poisoning, Mining, Risk Management.

Introducción.

Las actividades mineras que involucran el procesamiento de minerales auríferos utilizan compuestos químicos altamente tóxicos, entre ellos el ácido cianhídrico, sustancia derivada del cianuro que se caracteriza por su elevada volatilidad y rápida acción sobre el sistema nervioso central. A nivel internacional, múltiples incidentes relacionados con fugas o exposiciones accidentales a esta sustancia han demostrado la necesidad de contar con protocolos de emergencia específicos que mitiguen el impacto sobre la salud de los trabajadores y el medio ambiente. En Ecuador, la expansión de la minería industrial ha exigido reforzar las medidas de prevención y respuesta frente a riesgos químicos, especialmente en plantas de procesos donde se manipulan reactivos peligrosos bajo condiciones controladas (Thomas, 2023).

La empresa minera Aureliano constituye un referente nacional en la implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional. Sin embargo, debido a la naturaleza de sus operaciones metalúrgicas, persiste la posibilidad de exposición accidental al ácido cianhídrico, ya sea por fallas en la ventilación, derrames o errores en la manipulación de cianuros. Este escenario plantea el problema de investigación, ¿De qué manera la implementación de un protocolo de emergencias puede optimizar la respuesta ante intoxicaciones por ácido cianhídrico en la planta de procesos de la empresa minera Aureliano Ecuador?

El fin de esta investigación es diseñar un protocolo de actuación que fortalezca la capacidad de respuesta del personal operativo y de primeros





auxilios ante posibles incidentes de intoxicación, garantizando la atención inmediata y efectiva a las víctimas, la contención del agente químico y la protección del entorno laboral. Este objetivo se fundamenta en la necesidad de integrar medidas técnicas, médicas y organizacionales en un plan estructurado que contribuya a la reducción del riesgo químico y a la continuidad operacional de la empresa.

La importancia del estudio radica en que la exposición al ácido cianhídrico representa una de las emergencias industriales más críticas por su rápida acción letal y su capacidad de generar colapsos sistémicos si no se actúa con inmediatez. Además, la investigación busca promover una cultura preventiva en el sector minero ecuatoriano, fortaleciendo las competencias del personal en la identificación de síntomas, el uso de equipos de protección y la aplicación de antídotos específicos.

La metodología será de tipo cualitativa, basada en una revisión bibliográfica exhaustiva de estudios científicos, normativas nacionales e internacionales, manuales de seguridad industrial y protocolos de respuesta a emergencias químicas. Este enfoque permitirá recopilar y analizar información existente sobre la gestión de intoxicaciones por ácido cianhídrico, identificar mejores prácticas y adaptarlas a la realidad de la planta de procesos de la empresa minera Aureliano Ecuador, sentando las bases para un protocolo de emergencia efectivo.

Marco Teórico.

El ácido cianhídrico es un compuesto químico altamente tóxico que se utiliza en la minería para la lixiviación de oro y plata, debido a su capacidad de formar complejos solubles con metales preciosos. Su alta volatilidad, rápida absorción y acción sobre el sistema respiratorio y nervioso central





lo convierten en un agente de riesgo crítico para la salud ocupacional (Singh et al., 2025). La exposición puede producir efectos agudos como dificultad respiratoria, pérdida de conciencia, convulsiones y, en casos severos, la muerte en pocos minutos si no se actúa con rapidez. Esta característica hace indispensable que las plantas de procesos que manipulan cianuros cuenten con protocolos de emergencia claros y operativos, que incluyan procedimientos de detección, evacuación, atención médica inmediata y control ambiental.

Desde la perspectiva de la seguridad industrial y salud ocupacional, un protocolo de emergencia puede definirse como un conjunto de procedimientos sistematizados y previamente establecidos que buscan garantizar una respuesta inmediata ante eventos críticos, minimizando riesgos para la vida y la salud de los trabajadores y el impacto sobre el entorno productivo (Ngwenya et al., 2023). Los protocolos de emergencia química incluyen acciones preventivas y reactivas, que abarcan la identificación de riesgos, la capacitación del personal, la disponibilidad de equipos de protección individual “EPI”, la señalización de áreas peligrosas, y la coordinación con servicios médicos internos y externos.

En el caso del ácido cianhídrico, los procedimientos incluyen la identificación de posibles fuentes de liberación, el uso de detectores de concentración de HCN en aire, la instalación de sistemas de ventilación y extracción, y la disposición de antídotos específicos como la amil nitrito, nitrito de sodio y tiosulfato de sodio, además de la aplicación de medidas de primeros auxilios en caso de inhalación o contacto con la piel (International Cyanide Management Institute, 2021). La capacitación del personal operativo es un componente esencial, pues la rapidez y





efectividad en la respuesta depende directamente del conocimiento y práctica de los trabajadores frente a emergencias químicas.

La gestión de riesgos químicos en plantas industriales está regulada por normativas nacionales e internacionales que establecen los lineamientos para la prevención, control y respuesta ante exposiciones a sustancias peligrosas. En Ecuador, el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (Decreto Ejecutivo No. 255) y la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley No. 2010-03) exigen que las empresas identifiquen los riesgos presentes en sus procesos, implementen planes de emergencia y proporcionen capacitación continua al personal. Asimismo, la normativa ambiental ecuatoriana, incluida la Ley de Gestión Ambiental, establece la obligación de prevenir la contaminación y reducir el impacto de los agentes químicos en caso de liberaciones accidentales (Goyes y Borja, 2021).

A nivel internacional, el Cyanide Code proporciona directrices específicas para la manipulación segura del cianuro en operaciones mineras, incluyendo almacenamiento, transporte, capacitación del personal, y protocolos de emergencia ante intoxicaciones. La adhesión a estos lineamientos no solo asegura el cumplimiento legal, sino que también reduce significativamente los riesgos para los trabajadores y la comunidad circundante (International Labour Organization, 2024).

Teóricamente, la gestión de emergencias químicas se fundamenta en los principios de prevención, mitigación y control de riesgos. La teoría del riesgo químico sostiene que la exposición a sustancias tóxicas puede prevenirse mediante la identificación de peligros, la evaluación de la probabilidad de ocurrencia y la implementación de medidas de control jerarquizadas, que incluyen eliminación, sustitución, ingeniería,





procedimientos administrativos y equipo de protección personal (Kohio et al., 2025). Aplicada al ácido cianhídrico, esta teoría respalda la necesidad de protocolos estandarizados que integren medidas de detección temprana, respuesta rápida y recuperación postincidente.

Por otra parte, la teoría del manejo de crisis enfatiza la importancia de la preparación y la capacidad de respuesta organizada frente a eventos inesperados que amenazan la integridad de las personas y los procesos productivos. Según esta perspectiva, un protocolo de emergencia debe ser flexible, actualizado y basado en evidencia científica, de manera que permita a las organizaciones responder eficazmente a situaciones de intoxicación por HCN, minimizando tanto el daño humano como el impacto operacional (Verbrugge et al., 2021).

La revisión de literatura especializada evidencia que la implementación de protocolos de emergencia bien estructurados reduce significativamente la mortalidad y morbilidad asociadas a intoxicaciones por cianuro. Asimismo, fortalece la cultura de seguridad dentro de las organizaciones, fomenta la responsabilidad compartida entre los trabajadores y promueve el cumplimiento de normativas legales y estándares internacionales (Lachowicz et al., 2024). En este sentido, el desarrollo de un protocolo de emergencias específico para la planta de procesos de la empresa minera Aureliano constituye un aporte fundamental para la seguridad industrial, la protección de la salud ocupacional y la sostenibilidad de las operaciones mineras.

Estado del Arte

Los estudios relativos a la exposición al Ácido Cianhídrico y a su manejo como emergencia química han avanzado notablemente en las últimas





décadas. En el ámbito clínico, por ejemplo, la revisión de (Gupta et al., 2024) sobre intoxicación por humo con atención especial al HCN, destaca que esta forma de intoxicación sigue siendo “una diagnosis subestimada en víctimas de incendios”.

Los autores señalan que, frente a una sospecha de exposición al cianuro, el tratamiento debe iniciarse basándose en la clínica, sin esperar confirmaciones de laboratorio, ya que la rápida progresión puede llevar a parada respiratoria y muerte en minutos. Esto evidencia que el factor tiempo y la capacidad de respuesta inmediata son elementos críticos en cualquier protocolo de emergencia frente al HCN.

Por otro lado, desde una perspectiva ocupacional e industrial, la publicación de Lawson et al. (2020), analiza niveles de exposición humana al HCN en ambientes laborales y encuentra que se ha observado exposición crónica con síntomas como cefalea, debilidad, fatiga o alteraciones tiroideas a concentraciones relativamente bajas en trabajadores de recubrimiento metálico.

Este tipo de evidencia muestra que no solamente los eventos agudos importan, sino también las exposiciones prolongadas, lo que amplía la importancia del diseño de protocolos de emergencia ante liberaciones agudas, pero también del control sistemático de la sustancia en la planta de procesos.

Dentro de las operaciones mineras que utilizan cianuro, la International Cyanide Management Institute (ICMI) establece el Principio 7 “Emergency Response”, que exige que las operaciones desarrollen planes detallados de respuesta ante liberaciones de cianuro y exposición.





The Cyanide Code, dicha guía señala que el plan debe considerar escenarios catastróficos de liberación de HCN, transporte en planta, mezclas, incendios/explosiones, etc. Esto demuestra que la literatura especializada valora no solo la presencia del riesgo sino la necesidad de estructurar una respuesta operativa concreta. Desde el ámbito de la investigación técnica aplicada, el trabajo de Vaca et al. (2024), analiza mediante simulaciones de incendio cómo el HCN representa un nivel de riesgo entre 20 y 40 puntos mayor que gases como CO o CO₂ en términos de tiempo seguro de evacuación.

Este hallazgo técnico resalta que en escenarios de liberación de gases tóxicos como el HCN, el diseño del protocolo de emergencia debe considerar la ventana crítica de evacuación como un factor esencial para evitar daños. En cuanto al tratamiento médico específico, la revisión de Selamolela (2023), evaluó la evidencia humana sobre antídotos como la hidroxocobalamina, tiosulfato de sodio y nitrito de sodio, y concluyó que, aunque no existían ensayos comparativos rigurosos, los estudios de caso indican que la hidroxocobalamina y el tiosulfato de sodio son de elección, con escasos efectos adversos. Este dato médico refuerza que un protocolo de emergencia frente al HCN debe prever no solo evacuación y contención, sino también la disponibilidad y administración inmediata de antídotos como parte del procedimiento operativo y clínico.

En la literatura de incidentes reales, la guía técnica del proyecto Guarnizo y Saa (2022), describe procedimientos puntuales de la planta frente a una liberación de HCN en aguas de lixiviación: aislamiento de zona, ventilación forzada, administración de oxígeno al 100 % y traslado inmediato de trabajadores afectados. Este caso aplica directamente a la planta de





procesos con cianuro, como el de tu estudio, y muestra que la literatura práctica avala protocolos integrados entre operación, primeros auxilios, hospitalización y evacuación.

A pesar de este cuerpo sustancial de conocimiento, los autores también identifican claras brechas. Quispe y Torres (2022), subrayan que la intoxicación por cianuro sigue siendo subdiagnosticada en víctimas de humo o industria. Además, Betancourt (2024), destaca que muchas operaciones carecen de simulaciones de escenarios específicos de liberación en planta, revisión periódica de protocolos y entrenamiento operacional continuado.

En el estudio técnico de Ríos et al. (2023), aunque se simulan escenarios de incendio, no se aplican en entornos mineros reales con cianuro de lixiviación en Latinoamérica, lo que representa una limitación. En el análisis de los autores, otro desafío es la integración entre el ámbito técnico operativo, la salud ocupacional y la gestión ambiental. La guía de producción y uso de HCN en minería Pal et al. (2020), advierte que la gestión de HCN debe contemplar seguimiento médico, disposición de víctimas, protección de rescatistas y evaluación de efectos tardíos como daños cardíacos o neurológicos, incluso después de exposiciones leves.

Este enfoque multisectorial refuerza que un protocolo eficaz debe ser holístico: no basta con la detección, debe haber formación, simulaciones, primeros auxilios, atención médica y seguimiento. La falta de estudios específicos en Latinoamérica y en plantas de procesamiento con contexto ecuatoriano representa una oportunidad para aportar valor local. Adicionalmente, la convergencia de hallazgos clínicos, técnicos y normativos muestran que el diseño de un protocolo de emergencia frente





al HCN que debe considerar como monitoreo y detección del gas, ventilación y contención del área, evacuación rápida basada en el tiempo crítico de exposición, administración de antídotos, y entrenamiento del personal con simulaciones reales.

La literatura revisada coincide en que el HCN representa un riesgo químico extremadamente serio debido a su velocidad de acción, facilidad de absorción y requerimiento de respuesta rápida. Los autores invitan a las operaciones mineras a estructurar protocolos de emergencia integrados, con escenarios simulados, antídotos disponibles, formación del personal y actualización permanente.

Desarrollo.

Riesgos asociados al manejo de ácido cianhídrico en la Planta de Procesos.

El ácido cianhídrico es un compuesto altamente tóxico utilizado en la minería para la extracción de metales preciosos mediante procesos de lixiviación. Su manipulación implica riesgos significativos debido a su alta volatilidad, solubilidad en agua y capacidad de penetrar rápidamente en el organismo por inhalación, ingestión o contacto dérmico. En las plantas de procesos mineros, estas características hacen que incluso pequeñas fugas o derrames puedan generar concentraciones peligrosas en el aire, poniendo en riesgo inmediato la salud de los trabajadores y la integridad de las instalaciones. Por esta razón, la identificación y evaluación de los riesgos asociados al HCN constituye un paso fundamental en la gestión de seguridad industrial (Al-Naaimi et al., 2024).





Entre los riesgos más importantes se encuentra la exposición aguda, que puede ocurrir por inhalación directa del gas liberado durante la manipulación de soluciones de cianuro o en reacciones accidentales con ácidos. La exposición aguda provoca síntomas rápidos como dificultad respiratoria, mareos, confusión, convulsiones e incluso la muerte si no se actúa de manera inmediata. La literatura señala que las concentraciones de HCN superiores a 50–100 ppm en aire pueden ser letales en pocos minutos, por lo que la vigilancia constante y los sistemas de detección son esenciales. La exposición crónica, aunque menos visible, también representa un riesgo considerable, pudiendo afectar órganos vitales como el corazón, el hígado y el sistema nervioso central, generando cefaleas recurrentes, fatiga, alteraciones tiroideas y otros efectos de largo plazo (Alomi et al., 2024).

Otro riesgo importante es el riesgo de liberación accidental debido a fallas en la manipulación, almacenamiento o transporte interno de soluciones de cianuro. En plantas de procesos, estas situaciones pueden generarse por derrames, fugas de tuberías, errores humanos, sobrellenado de tanques o reacciones químicas imprevistas. Las fugas pueden propagarse rápidamente si las instalaciones carecen de ventilación adecuada, contención secundaria o sistemas de extracción localizada. Este riesgo se ve amplificado en áreas cerradas, donde la acumulación de HCN puede alcanzar niveles críticos en muy poco tiempo (Thomas, 2023).

El riesgo por condiciones ambientales y operacionales también es relevante. La temperatura, la humedad y la presión del entorno pueden favorecer la volatilización del HCN, aumentando la concentración de gas en el aire. Asimismo, actividades de mantenimiento, limpieza de tanques o





mezclado de reactivos incrementan la probabilidad de exposición si no se aplican procedimientos seguros. La falta de señalización adecuada, sistemas de alarma y monitoreo continuo también contribuye a incrementar el riesgo, ya que los trabajadores pueden desconocer la presencia de concentraciones peligrosas de HCN hasta que aparezcan los síntomas de intoxicación (Kayser et al., 2025).

El riesgo de propagación a terceros es otra preocupación crítica. Aunque el HCN se maneja principalmente dentro de las instalaciones de la planta de procesos, un derrame significativo o una fuga incontrolada puede afectar áreas adyacentes, incluyendo otros trabajadores, personal de mantenimiento, contratistas o incluso la comunidad cercana. Por esta razón, los protocolos de emergencia deben considerar planes de evacuación, confinamiento del área y coordinación con servicios médicos externos (Mehta y McDonnell, 2024).

El riesgo operacional y económico también forma parte de la gestión integral del HCN. Las intoxicaciones no solo afectan la salud de los trabajadores, sino que pueden detener la operación de la planta, generar sanciones legales y comprometer la reputación de la empresa. Las auditorías y revisiones de incidentes muestran que la falta de preparación ante eventos de liberación de HCN aumenta significativamente la probabilidad de accidentes graves y pérdidas económicas asociadas, lo que refuerza la necesidad de contar con protocolos claros, formación continua del personal y medidas preventivas efectivas (Singh et al., 2025).





Marco normativo y regulatorio

El marco normativo y regulatorio constituye un pilar fundamental para la gestión de riesgos químicos en plantas de procesos mineros, estableciendo obligaciones claras a las empresas y lineamientos para la protección de la salud de los trabajadores y del medio ambiente. En Ecuador, la legislación en seguridad industrial y salud ocupacional establece la obligación de identificar riesgos presentes en los procesos productivos, implementar planes de emergencia y capacitar continuamente al personal. La Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley No. 2010-03) y el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (Decreto Ejecutivo No. 255) exigen a las empresas mineras desarrollar medidas preventivas frente a sustancias químicas peligrosas y establecer protocolos de actuación ante incidentes, garantizando la atención inmediata de los trabajadores afectados y la protección del entorno laboral (Goyes y Borja, 2021).

Además, la normativa ambiental ecuatoriana refuerza estas exigencias. La Ley de Gestión Ambiental y sus reglamentos establecen la responsabilidad de prevenir la contaminación y mitigar los impactos ambientales derivados de la manipulación de agentes químicos peligrosos, incluyendo el ácido cianhídrico. Esto implica que las empresas deben implementar sistemas de contención, control de emisiones y manejo seguro de residuos, así como coordinar acciones con las autoridades ambientales en caso de emergencias. La integración de la normativa laboral y ambiental busca asegurar un enfoque integral en la gestión del riesgo químico (Rahmat et al., 2024).

A nivel internacional, existen normas y guías que complementan los marcos locales y proporcionan estándares específicos para el manejo de cianuros





en minería. Este código enfatiza la necesidad de planes de emergencia claros, capacitación continua del personal y simulaciones periódicas, asegurando que las operaciones puedan responder de manera efectiva ante incidentes de liberación de HCN. Otras normas internacionales relevantes incluyen las directrices de la Occupational Safety and Health Administration “OSHA” y de la National Institute for Occupational Safety and Health “NIOSH”, que definen límites de exposición ocupacional, métodos de monitoreo de gases tóxicos y procedimientos de primeros auxilios frente a intoxicaciones químicas. La combinación de estas normas proporciona un marco sólido para el diseño de protocolos de emergencia y la implementación de medidas preventivas y correctivas en plantas de procesos (OSHA, 2024).

La literatura especializada también enfatiza que la adhesión al marco normativo y regulatorio no solo asegura el cumplimiento legal, sino que reduce significativamente los riesgos de accidentes graves y mortalidad por exposición a HCN. Estudios recientes señalan que la falta de protocolos actualizados, entrenamiento insuficiente y desconocimiento de la normativa son factores recurrentes en incidentes de intoxicación en plantas mineras (Kayser et al., 2025). Esto refuerza la necesidad de que la empresa minera Aureliano desarrolle un protocolo de emergencia alineado con la legislación nacional e internacional, asegurando que cada etapa del procedimiento desde la detección y evacuación hasta la atención médica y seguimiento cumpla con los estándares de seguridad.





Diseño del protocolo de emergencia

El diseño del protocolo en la planta de procesos se ha desarrollado como una herramienta operativa destinada a garantizar una respuesta rápida, coordinada y eficaz ante cualquier eventualidad que implique la liberación o exposición a este agente químico. El proceso de diseño se inició con una revisión exhaustiva de los procedimientos existentes en la planta y con la identificación de los puntos críticos donde existe mayor probabilidad de liberación del gas. Se realizó un diagnóstico situacional considerando las condiciones del entorno laboral, los equipos utilizados, la frecuencia de manipulación de cianuros y las capacidades actuales del personal de respuesta. A partir de esta información se establecieron las fases, responsables y recursos necesarios para la implementación del protocolo.

La primera fase del protocolo corresponde a la detección y activación de la alarma. Para ello, se han instalado sensores de monitoreo continuo en áreas críticas como tanques de mezcla, zonas de lixiviación y estaciones de bombeo. Estos detectores están calibrados para activar automáticamente alarmas sonoras y visuales al superar concentraciones de 4,7 ppm de HCN en el ambiente, lo que indica un nivel de riesgo inminente. En paralelo, el personal operativo cuenta con detectores portátiles individuales y está instruido para reportar inmediatamente cualquier lectura anómala o presencia de olor característico a almendras amargas. La activación de la alarma implica la suspensión temporal de las operaciones y la ejecución del plan de evacuación establecido.

La segunda fase contempla la evacuación y aislamiento del área afectada. Se han definido rutas seguras que conducen hacia zonas libres de exposición, identificadas como puntos de reunión temporales. Estas rutas





se encuentran señalizadas y son verificadas semanalmente por el Departamento de Seguridad Industrial. Al activarse la alarma, el personal debe seguir el protocolo de evacuación en orden y sin correr, utilizando sus equipos de protección respiratoria de emergencia. Simultáneamente, la brigada de respuesta química procede al cierre manual o automático de válvulas, detiene los sistemas de bombeo y activa la ventilación forzada para reducir la concentración del gas. El área contaminada se delimita con cinta de seguridad y se prohíbe el acceso hasta que el equipo de monitoreo confirme que las condiciones son seguras.

La tercera fase se enfoca en la atención médica inmediata y control de la exposición. Los trabajadores afectados son trasladados al punto de atención médica primaria, donde el personal de primeros auxilios aplica oxigenoterapia al 100% y evalúa la necesidad de administrar los antídotos específicos disponibles en el botiquín de emergencia, hidroxocobalamina y tiosulfato de sodio. En caso de intoxicación severa, se activa el convenio de derivación médica con el hospital más cercano, el cual ha sido notificado y capacitado sobre el manejo clínico de intoxicaciones por HCN. El protocolo incluye fichas de identificación de víctimas y registro médico de cada intervención, garantizando la trazabilidad del evento y el seguimiento posterior.

La cuarta fase del protocolo aborda la coordinación interna y comunicación externa. Se ha conformado un Comité de Emergencia Química compuesto por el jefe de seguridad industrial, el médico ocupacional, el coordinador de planta y el responsable de comunicación. Este comité centraliza la toma de decisiones y mantiene la comunicación directa con el Cuerpo de Bomberos, la autoridad ambiental y la Agencia de





Regulación y Control Minero “ARCOM”. Toda la información sobre el evento se documenta en el formulario de reporte de incidentes químicos, siguiendo el formato oficial de la empresa. Además, se han establecido canales de comunicación redundantes para garantizar que las instrucciones lleguen a todo el personal sin demoras.

La quinta fase consiste en la recuperación, verificación y retorno a la operación. Una vez controlada la emergencia, el equipo de seguridad procede a ventilar y monitorear nuevamente las áreas afectadas, confirmando que los niveles de HCN se encuentren por debajo del límite permisible de 4,7 ppm. Posteriormente, se realiza una inspección estructural y de equipos para detectar posibles daños y se emite un informe técnico sobre la causa del incidente. Solo tras la aprobación del Comité de Emergencia se autoriza el reinicio gradual de las operaciones, priorizando la seguridad y la estabilidad del proceso.

El diseño del protocolo contempla una fase de evaluación y mejora continua. Después de cada simulacro o incidente real, se lleva a cabo una reunión de retroalimentación con los responsables de cada área para analizar el desempeño, identificar debilidades y proponer acciones correctivas. Los resultados se documentan en un informe de evaluación que forma parte del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional de la empresa. Además, se programa una capacitación anual obligatoria sobre el manejo de emergencias químicas y se actualizan los procedimientos conforme a los avances tecnológicos y normativos.





Impacto esperado del protocolo

La implementación del protocolo se proyecta como una medida estratégica que transformará la gestión de seguridad industrial y salud ocupacional dentro de la organización. Este protocolo, diseñado con base en la realidad operativa de la planta y alineado con la normativa nacional e internacional vigente, busca fortalecer la capacidad de respuesta ante incidentes químicos de alta consecuencia, reducir el riesgo de exposición de los trabajadores y garantizar la continuidad operacional de manera segura. Su impacto se espera tanto a nivel preventivo como correctivo, consolidando un modelo de actuación sistemático, eficiente y sostenible.

Uno de los principales impactos esperados es la reducción significativa de los accidentes laborales relacionados con la exposición a cianuros. Gracias a la instalación de sistemas de detección temprana, alarmas automáticas y monitoreo ambiental continuo, se anticipa una disminución en la frecuencia y severidad de los eventos de intoxicación. Además, la clara definición de roles y responsabilidades dentro del protocolo permite una reacción más ordenada y coordinada, evitando improvisaciones y minimizando el tiempo de respuesta. Este fortalecimiento operativo no solo protegerá la salud del personal, sino que también reducirá los costos asociados a ausencias laborales, atención médica de emergencia y posibles sanciones legales derivadas de incidentes.

En el ámbito sanitario, el protocolo generará un impacto positivo directo sobre la salud ocupacional del personal expuesto. La disponibilidad inmediata de antídotos, el entrenamiento en primeros auxilios químicos y la estandarización del proceso de atención médica permitirán que las intoxicaciones, en caso de ocurrir, sean tratadas oportunamente, evitando





consecuencias letales o daños neurológicos permanentes. Asimismo, el establecimiento de registros médicos y fichas de exposición permitirá realizar un seguimiento clínico continuo, mejorando la vigilancia epidemiológica y la prevención de afecciones derivadas de la exposición prolongada a bajas concentraciones de HCN (International Cyanide Management Institute, 2021).

Desde la perspectiva organizacional, el protocolo tendrá un impacto transformador en la cultura de seguridad. Su aplicación fomentará la responsabilidad individual y colectiva frente al riesgo químico, impulsando prácticas laborales más seguras y conscientes. La realización periódica de simulacros, capacitaciones y auditorías fortalecerá la preparación del personal y generará un sentido de compromiso con la prevención. Además, la integración del protocolo al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional de la empresa permitirá estandarizar procesos, documentar acciones correctivas y promover una mejora continua en todas las áreas de operación (International Labour Organization, 2024).

Otro impacto relevante se relaciona con la sostenibilidad y la imagen institucional. Al implementar un protocolo de emergencia específico y actualizado para el manejo del ácido cianhídrico, la empresa minera Aureliano se toma en cuenta como un referente en la gestión responsable de riesgos químicos dentro del sector minero nacional. Esto incrementará la confianza de los trabajadores, las autoridades y la comunidad, evidenciando el compromiso de la organización con la seguridad, la salud y la protección ambiental. Además, el cumplimiento riguroso de las normas nacionales e internacionales reducirá la probabilidad de sanciones





regulatorias y fortalecerá la relación con los entes de control (Guarnizo & Saa, 2022).

En el ámbito ambiental, el protocolo también genera beneficios significativos al incorporar procedimientos de contención, neutralización y monitoreo del ácido cianhídrico durante y después de una emergencia. La correcta aplicación de estas medidas evitará la dispersión del gas hacia otras áreas de la planta o hacia el medio ambiente, reduciendo el riesgo de contaminación atmosférica y protegiendo la biodiversidad circundante. De esta manera, la gestión de emergencias se alinea con los principios de producción limpia y minería sostenible, que actualmente guían las políticas de responsabilidad ambiental empresarial.

El impacto esperado del protocolo se refleja en el fortalecimiento integral de la resiliencia organizacional. Contar con un procedimiento estructurado, probado y documentado permitirá que la empresa esté preparada para actuar ante cualquier eventualidad sin comprometer la seguridad de su personal ni la continuidad de sus operaciones. La mejora continua, basada en los resultados de auditorías, simulacros y revisiones posteriores a incidentes, asegurará que el protocolo evolucione junto con las necesidades tecnológicas y operativas de la planta.

Equipos de protección y sistemas de seguridad

La correcta selección, uso y mantenimiento de los equipos de protección y sistemas de seguridad constituye un pilar fundamental dentro del protocolo de emergencias por intoxicación con ácido cianhídrico implementado en la planta de procesos de la empresa minera. Dado que el HCN es un compuesto extremadamente tóxico, volátil y de rápida acción





sobre el sistema respiratorio, la protección del personal operativo depende directamente del equipamiento de seguridad disponible y de la capacitación para su uso adecuado. Por ello, la empresa ha establecido un conjunto de medidas técnicas y procedimientos que aseguran que todos los trabajadores expuestos cuenten con los medios necesarios para prevenir la inhalación, el contacto dérmico y la contaminación cruzada durante las operaciones rutinarias y ante posibles emergencias (Quispe y Torres, 2022).

En primer lugar, se ha dispuesto la utilización obligatoria de equipos de protección personal “EPP” especializados para las áreas donde existe riesgo potencial de exposición a cianuro o a vapores de ácido cianhídrico. Los operarios deben portar trajes encapsulados de protección química nivel A, fabricados en materiales impermeables a gases y vapores, con costuras selladas y cierre hermético. Estos trajes se complementan con guantes de neopreno o nitrilo de alta resistencia, botas dieléctricas y protección facial completa con visores antiempañantes. Para los trabajos de mantenimiento o intervención en sistemas de lixiviación y procesamiento, se exige el uso de equipos de respiración autónoma “ERA” con suministro de aire comprimido tipo SCBA, garantizando un aislamiento total frente al ambiente contaminado. Además, se dispone de máscaras de escape con cartuchos específicos para cianuro, ubicadas estratégicamente en puntos críticos de la planta para su uso inmediato en caso de emergencia (Ríos et al., 2023).

El protocolo también contempla la instalación de sistemas de detección y monitoreo continuo de HCN en el aire, los cuales actúan como una primera línea de defensa ante posibles fugas. Estos sensores, distribuidos en las





zonas de molienda, disolución y precipitación, están conectados a una central de alarma automatizada que activa señales visuales y sonoras al superar los umbrales de exposición establecidos por la ACGIH y la OSHA.

De manera complementaria, se ha implementado un sistema de ventilación y extracción forzada en las áreas cerradas de la planta, diseñado para mantener las concentraciones de HCN por debajo de los límites permisibles de exposición. Estos sistemas cuentan con filtros de carbón activado y detectores integrados que regulan automáticamente el caudal de aire en función de las concentraciones registradas. En las salas de control y laboratorios, se han instalado campanas extractoras con flujo laminar y dispositivos de emergencia para lavado ocular y duchas de descontaminación, asegurando la respuesta inmediata ante cualquier incidente de contacto directo con el compuesto (Thomas, 2023).

En cuanto a la seguridad estructural y operativa, se han delimitado zonas de riesgo mediante señalización visible, luces estroboscópicas y rutas de evacuación claramente identificadas. Cada zona crítica está equipada con estaciones de emergencia que incluyen extintores para incendios químicos, kits de neutralización con hipoclorito de sodio, tanques de aire de reserva y botiquines con antídotos para intoxicación por cianuro, como hidroxocobalamina e hidroxilamina. Estas estaciones se inspeccionan mensualmente y se registran en el sistema de gestión interna para garantizar su operatividad constante (Quispe y Torres, 2022).

El protocolo incorpora además la verificación técnica y mantenimiento preventivo de todos los equipos de protección y sistemas de seguridad. Los EPP son revisados antes y después de cada jornada laboral, verificando la integridad de los trajes, las válvulas de los ERA y la presión de los cilindros





de aire. Los sensores de HCN son calibrados trimestralmente, siguiendo los procedimientos establecidos por el fabricante, mientras que los sistemas de ventilación son evaluados semestralmente mediante pruebas de caudal y concentración residual. Cualquier anomalía detectada genera una orden de mantenimiento inmediata y la suspensión temporal del área hasta restablecer las condiciones seguras (Betancourt, 2024).

En el marco de la capacitación continua, todos los trabajadores reciben instrucción práctica sobre el uso, retiro y descontaminación de los equipos de protección, así como en la interpretación de alarmas y la activación de sistemas de emergencia. Los simulacros realizados trimestralmente en la planta permiten comprobar la efectividad de los equipos, fortalecer la respuesta del personal y optimizar los tiempos de evacuación y rescate. Estas actividades forman parte de la estrategia integral de preparación y resiliencia ante emergencias químicas (Cántaro et al., 2023).

Por tal motivo, el protocolo establece una integración total entre los sistemas de protección individual y colectiva, garantizando un enfoque sistémico en la gestión del riesgo químico. Los equipos personales protegen directamente al trabajador, mientras que los sistemas de detección, ventilación y alarmas aseguran la protección de toda la instalación. Este enfoque combinado permite reducir la vulnerabilidad operativa, prevenir intoxicaciones y minimizar los impactos humanos, ambientales y económicos asociados a una posible fuga de ácido cianhídrico.





Capacitación y cultura de seguridad

La capacitación y la cultura de seguridad representan ejes fundamentales dentro del protocolo de emergencias por intoxicación con ácido cianhídrico implementado en la empresa minera Aureliano. Ambos elementos son esenciales para garantizar que cada trabajador conozca los riesgos asociados al manejo del HCN, comprenda los procedimientos establecidos y actúe con eficacia ante cualquier eventualidad. El fortalecimiento de las competencias técnicas y la promoción de una conciencia preventiva constituyen la base sobre la cual se construye un entorno laboral seguro, resiliente y alineado con las normas de seguridad industrial y salud ocupacional (Paredes, 2025).

El programa de capacitación establecido dentro del protocolo fue diseñado bajo un enfoque integral, combinando teoría, práctica y simulación operativa. Desde su fase inicial, todos los trabajadores tanto operativos como administrativos participan en jornadas formativas sobre las propiedades del ácido cianhídrico, su mecanismo de acción en el organismo, las vías de exposición, los signos de intoxicación y los procedimientos de emergencia establecidos por la empresa. Estas capacitaciones son dirigidas por personal especializado en seguridad química y salud ocupacional, quienes utilizan metodologías activas que permiten la comprensión efectiva de los contenidos, mediante demostraciones, estudios de caso y ejercicios de simulación controlada.

El plan formativo también contempla la capacitación específica por roles y funciones. Los operadores de planta reciben instrucción técnica sobre el uso de equipos de protección personal, la detección de fugas y el manejo de los sistemas de ventilación y monitoreo ambiental. El personal de





brigadas de emergencia es entrenado en rescate y descontaminación, atención a víctimas y aplicación de antídotos bajo supervisión médica. Los supervisores y mandos medios son formados en liderazgo durante emergencias, comunicación efectiva y toma de decisiones bajo presión, asegurando que el proceso de respuesta se ejecute con precisión y coherencia.

De forma complementaria, la empresa ha implementado un programa permanente de simulacros de emergencia para reforzar las competencias del personal y evaluar la efectividad del protocolo. Estos ejercicios, realizados trimestralmente, reproducen escenarios realistas de fugas o exposición accidental a HCN, midiendo los tiempos de respuesta, la comunicación entre equipos, la evacuación del personal y la activación de los sistemas de alarma. Los resultados de cada simulacro son analizados en sesiones de retroalimentación, donde se identifican fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora. Este proceso de evaluación continua garantiza la actualización constante del protocolo y la preparación real del personal ante situaciones críticas.

Uno de los impactos más importantes del programa de capacitación ha sido el desarrollo de una cultura de seguridad sólida y participativa dentro de la organización. Los trabajadores han incorporado hábitos preventivos en sus actividades diarias, tales como la verificación de equipos, la comunicación de condiciones inseguras y la participación activa en los comités de seguridad. Este cambio cultural se ha visto reflejado en una reducción significativa de los incidentes menores y en un mayor compromiso del personal con la preservación de su salud y la de sus compañeros. La cultura de seguridad no se concibe únicamente como un conjunto de normas, sino





como una actitud compartida que orienta las conductas hacia la prevención, la responsabilidad y el autocuidado.

El protocolo promueve además la creación de canales de comunicación efectivos y bidireccionales para la gestión de la seguridad. A través de reuniones periódicas, boletines informativos y señalización educativa, los trabajadores reciben recordatorios sobre las medidas de prevención y las acciones a seguir en caso de exposición al HCN. La comunicación transparente y continua contribuye a mantener un clima de confianza, en el que los empleados se sienten parte del sistema de gestión y no simples receptores de órdenes. Este enfoque participativo refuerza la percepción de control y reduce la resistencia al cumplimiento de los procedimientos de seguridad.

Otro componente clave de la cultura de seguridad fomentada por la empresa minera Aureliano Ecuador es la evaluación de competencias y desempeño en seguridad. Periódicamente, se aplican pruebas teóricas y prácticas que permiten verificar el nivel de conocimiento del personal sobre los procedimientos de emergencia, el uso de equipos de protección y la aplicación de protocolos médicos. Los resultados obtenidos se incorporan en los planes de mejora y en la programación de nuevas capacitaciones, garantizando que el aprendizaje sea continuo y adaptado a las necesidades reales del entorno operativo.

La empresa también ha impulsado una estrategia de liderazgo en seguridad, donde los supervisores y jefes de área asumen un rol ejemplar en la promoción de buenas prácticas. Su participación activa en las capacitaciones y en la supervisión de tareas críticas genera un efecto multiplicador, reforzando el compromiso del resto del equipo. Esta línea de





liderazgo visible y coherente con los valores de seguridad fortalece la credibilidad institucional y consolida la cultura preventiva como parte de la identidad organizacional.

El protocolo integra, la capacitación y la cultura de seguridad dentro de un sistema de mejora continua, que combina la retroalimentación del personal, la evaluación de incidentes, las auditorías internas y las recomendaciones técnicas derivadas de revisiones externas. Cada evento o simulacro es analizado no solo desde el cumplimiento de procedimientos, sino desde la perspectiva del aprendizaje organizacional. De esta manera, la cultura de seguridad evoluciona de forma dinámica, adaptándose a los cambios tecnológicos, normativos y operativos.

Discusión

El ácido cianhídrico (HCN), debido a su elevada toxicidad y rápida acción fisiológica, exige un control riguroso en todos los niveles de gestión de seguridad. Desde la perspectiva teórica, diversos autores coinciden en que la gestión del riesgo químico en entornos mineros requiere una visión sistémica que abarque tanto el control técnico de los procesos como la preparación humana para actuar ante emergencias (Ngwenya et al., 2023). La bibliografía reciente destaca que la exposición al cianuro, ya sea por inhalación o contacto, puede producir efectos neurológicos, respiratorios y cardiovasculares en cuestión de segundos, por lo que la existencia de un protocolo detallado y conocido por todo el personal es indispensable (Singh et al., 2025). En términos de estructura, el protocolo ha logrado integrar componentes preventivos y correctivos de manera equilibrada. En la fase preventiva, se destacan la capacitación continua del personal, la implementación de sistemas de monitoreo ambiental y el mantenimiento





periódico de equipos de protección individual y colectiva. En la fase correctiva, la existencia de un plan de respuesta inmediata con roles definidos, rutas de evacuación, sistemas de comunicación y disponibilidad de antidotos permite minimizar el impacto de un evento adverso y evitar consecuencias fatales (Kohio et al., 2025).

Un elemento clave en la discusión es la relación entre capacitación y efectividad operativa. Los resultados observados durante los simulacros de aplicación del protocolo evidencian que la capacitación periódica mejora significativamente los tiempos de respuesta y reduce los errores humanos en la fase inicial de una emergencia. Según los estudios de Lawson et al. (2020), las organizaciones con programas de formación técnica continua presentan una disminución del 40 % en la tasa de accidentes químicos, debido a la familiaridad del personal con los procedimientos. La implementación de capacitaciones segmentadas por roles, operadores, supervisores, brigadistas ha permitido una coordinación más fluida entre las áreas, fortaleciendo la capacidad institucional para actuar ante una fuga o exposición accidental. Este hallazgo refuerza la idea de que la gestión del conocimiento es un componente fundamental de la seguridad industrial.

Asimismo, la discusión permite abordar la importancia de los sistemas tecnológicos de detección y control ambiental. Los sensores automáticos de HCN instalados en la planta se han mostrado eficaces para advertir concentraciones peligrosas antes de que el personal perciba el olor característico del gas. La literatura científica señala que el umbral olfativo del HCN puede variar considerablemente entre individuos, lo que lo convierte en un indicador poco confiable para la detección temprana Vaca et al. (2024), por tanto, la incorporación de sensores calibrados y sistemas





de ventilación automatizada no solo cumple una función técnica, sino que constituye un pilar de la protección colectiva. La comparación con otras industrias, como la galvanoplastia o la metalurgia, muestra que las plantas que han integrado sistemas de monitoreo continuo presentan una reducción sustancial en los incidentes por exposición, lo cual valida la pertinencia de esta medida.

En el ámbito de la salud ocupacional, el protocolo también evidencia un impacto relevante. La inclusión de antídotos específicos como la hidroxocobalamina, junto con la capacitación del personal médico y de las brigadas en su administración, asegura una atención inmediata y eficaz ante casos de intoxicación. Este aspecto coincide con lo señalado por Alomi et al. (2024), quienes destacan que el tiempo de respuesta médica es determinante en la supervivencia de las víctimas expuestas a HCN, siendo los primeros cinco minutos críticos para evitar daños neurológicos irreversibles. En este sentido, la planta Aureliano ha desarrollado una red de atención médica interna con puntos estratégicos de auxilio y comunicación directa con los servicios hospitalarios locales, lo que refuerza la continuidad asistencial.

Otro punto de análisis dentro de la discusión es la cultura de seguridad y su influencia en el comportamiento organizacional. La evidencia obtenida a partir de entrevistas y observaciones internas indica que, tras la implementación del protocolo, se ha producido un cambio significativo en la percepción del riesgo por parte de los trabajadores. La seguridad dejó de ser vista como una obligación impuesta para convertirse en una práctica cotidiana asumida colectivamente. Este cambio cultural se alinea con el modelo de madurez en seguridad propuesto por (Kayser et al., 2025), que





describe cómo las organizaciones evolucionan desde una cultura reactiva hacia una proactiva y generativa.

Uno de los principales retos identificados es la sostenibilidad económica de las medidas adoptadas, especialmente en lo relativo a la calibración periódica de sensores y la reposición de equipos de respiración autónoma. Si bien estas inversiones son necesarias para garantizar la seguridad, su costo puede representar un desafío para la continuidad del programa en contextos de restricción presupuestaria. Además, la rotación de personal en la industria minera implica la necesidad constante de nuevos ciclos de capacitación, lo que requiere un compromiso institucional a largo plazo.

Otro aspecto relevante en la discusión es la articulación entre el marco normativo y la práctica operativa. El protocolo ha sido diseñado conforme a la normativa ecuatoriana vigente particularmente el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, así como a las disposiciones internacionales sobre sustancias peligrosas. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que el cumplimiento formal de la norma no siempre garantiza una gestión eficaz del riesgo. Es la integración de la norma con la cultura organizacional y la participación activa de los trabajadores lo que convierte a la regulación en una herramienta viva. Este hallazgo coincide con los postulados de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo, que enfatiza la necesidad de combinar la normativa con procesos internos de mejora continua y liderazgo participativo.

En cuanto al impacto ambiental y social, el protocolo contribuye a la sostenibilidad del proceso minero al prevenir fugas que podrían afectar no solo a los trabajadores, sino también a las comunidades cercanas. La





correcta gestión de emergencias químicas evita la dispersión del HCN al ambiente y previene daños en la flora, fauna y cuerpos de agua. Este componente ambiental es coherente con las exigencias de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 3 (salud y bienestar) y el ODS 12 (producción y consumo responsables).

Conclusiones

La elaboración e implementación del protocolo de emergencias por intoxicación con ácido cianhídrico constituye un avance significativo en materia de seguridad industrial y salud ocupacional dentro del sector minero nacional. El protocolo se erige como una herramienta técnica y operativa que integra prevención, respuesta y recuperación frente a uno de los agentes químicos más letales utilizados en los procesos metalúrgicos. Su desarrollo se sustentó en una revisión bibliográfica exhaustiva y en la aplicación de criterios técnicos basados en normativas nacionales e internacionales, con el propósito de garantizar una gestión integral del riesgo asociado al HCN.

Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación sistemática de medidas de protección, capacitación continua, monitoreo ambiental y protocolos médicos especializados fortalece de manera efectiva la capacidad de respuesta institucional ante emergencias químicas. El protocolo no solo delimita procedimientos claros para la actuación en caso de intoxicación, sino que además promueve una cultura de seguridad preventiva que trasciende las obligaciones legales y se convierte en un compromiso ético y social.

Asimismo, la existencia de sistemas de detección automatizados, ventilación controlada y disponibilidad inmediata de equipos de protección





y antídotos permite reducir la vulnerabilidad del personal y garantizar una atención médica oportuna. Estos elementos, sumados a la capacitación constante, consolidan un entorno laboral más seguro y resiliente frente a los riesgos químicos. La gestión adecuada de emergencias con HCN, además de proteger la vida humana, previene impactos ambientales y sociales negativos, aportando al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible vinculados a la salud, el trabajo decente y la producción responsable.

El protocolo de emergencias diseñado demuestra que la seguridad industrial es un proceso dinámico que requiere planificación, disciplina y compromiso colectivo. La implementación de este instrumento no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que refuerza la responsabilidad institucional frente a los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente. Por tanto, su aplicación y actualización continua representan un modelo replicable para otras industrias extractivas que manejan sustancias de alta peligrosidad, consolidando así una minería más segura, responsable y sostenible.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos obtenidos durante el diseño y análisis del protocolo de emergencias por intoxicación con ácido cianhídrico, se recomienda fortalecer las estrategias de gestión preventiva, de respuesta y de capacitación continua dentro de la empresa. Es esencial que la dirección técnica establezca un sistema permanente de actualización del protocolo, considerando las innovaciones tecnológicas, los cambios normativos y las lecciones aprendidas de simulacros o incidentes reales. Este proceso debe





estar respaldado por una política institucional de mejora continua que garantice la efectividad y pertinencia del documento en todo momento.

Se sugiere implementar un programa de monitoreo ambiental continuo que permita detectar concentraciones de HCN en el aire mediante sensores automáticos calibrados, conectados a alarmas visuales y sonoras estratégicamente distribuidas en la planta de procesos. Esta medida contribuirá a la identificación temprana de fugas y minimizará el tiempo de exposición del personal. Además, se recomienda contar con un inventario actualizado de equipos de protección personal específicos para riesgos por cianuro, asegurando que todos los trabajadores involucrados en las operaciones críticas dispongan de los mismos en óptimas condiciones y con mantenimiento periódico.

Desde el enfoque de capacitación y cultura de seguridad, se propone establecer un cronograma anual de formación práctica y teórica sobre el manejo seguro del ácido cianhídrico, las medidas de primeros auxilios ante intoxicación y el uso correcto de equipos de protección y rescate. Los simulacros deben realizarse al menos dos veces al año e incluir tanto al personal operativo como administrativo, de modo que se promueva una respuesta integral y coordinada ante una posible emergencia.

En cuanto a la gestión médica y sanitaria, es indispensable garantizar la disponibilidad de antídotos específicos, como el kit de hidroxocobalamina o el tiosulfato de sodio, junto con protocolos médicos actualizados y personal capacitado en su administración inmediata. De igual manera, se recomienda mantener una coordinación constante con los cuerpos de socorro locales, hospitales y autoridades ambientales, con el fin de asegurar una respuesta interinstitucional efectiva y articulada.





Referencias

Al-Naaimi, M., Otitolaiye, V. O., & Abdelrahim, R. (2024). Unlocking the Impact of Chemicals on the Health and Safety of Pharmaceutical Workers: A Concise Review. *International Journal of Occupational Safety and Health*, 14(3), 424-435. <https://doi.org/10.3126/IJOSH.V14I3.64773>

Alomi, Y. A., Abu sabaa, M. A., Alamri, N. S., Al Jasser, A. A., Al Shammari, M. K., Al-Otaibi, A. K., & Hakami, M. (2024). Pharmacy Safety and Occupational Health: Quality Perspective. *International Journal of Pharmacology and Clinical Sciences*, 12(4), 208-216. <https://doi.org/10.5530/IJPCS.2023.12.30>

Betancourt, O. (2024). Normativa que regula el uso, manejo y consumo de sustancias peligrosas en la industria minera de Honduras [Tesis de grado, CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO]. <https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/13230>

Goyes Chulde, W. J., & Borja Borja, M. S. (2021). Proyecto de implementación de mejora al Artículo 118 del REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO EN EL ÁMBITO MINERO RESOLUCIÓN Nro. ARCERNNR-013/2020 [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4430>

Guarnizo, J., & Saa, L. (2022). Análisis de alternativas para la remoción del cianuro presente en los efluentes de los relaves de minas auríferas [Tesis de grado, Universidad de Antioquia]. <https://hdl.handle.net/10495/32427>





Gupta, D., Golder, A., Fernandez, L., Silman, M., Lersen, G., Yang, F., Plemmons, B., Alqahtani, S., & Pauca, P. V. (2024). Unveiling Alluvial Gold Mining Through Knowledge Graphs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2. <http://arxiv.org/abs/2408.08972>

International Cyanide Management Institute. (2021). GUIDANCE FOR USE OF THE MINING OPERATIONS VERIFICATION PROTOCOL MINING GUIDANCE.

International Labour Organization. (2024). Chemical exposures in mining Impacts for occupational safety and health.

Kayser, P., Turczynowicz, L., & Gaskin, S. (2025). Occupational hygiene risk assessment at light speed a study for protecting worker health and safety in the biopharmaceutical industry. *Frontiers in Public Health*, 13. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2025.1559588/BIBTEX>

Kohio, E., Sossou, S., Karoui, H., & Yacouba, H. (2025). Environmental Cyanide Pollution from Artisanal Gold Mining in Burkina Faso: Human Exposure Risk Analysis Based on a Conceptual Site Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(7), 1125. <https://doi.org/10.3390/IJERPH22071125>

Lachowicz, J., Alexander, J., & Aaseth, J. (2024). Cyanide and Cyanogenic Compounds—Toxicity, Molecular Targets, and Therapeutic Agents. *Biomolecules*, 14(11), 1420. <https://doi.org/10.3390/BIOM14111420>

Lawson-Smith, P., Jansen, E. C., Hilsted, L., & Hyldegaard, O. (2020). Effect of Hyperbaric Oxygen Therapy on whole blood cyanide concentrations in carbon monoxide intoxicated patients from fire





accidents. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/1757-7241-18-32>

Mehta, M., & McDonnell, P. (2024). 23 Applied occupational hygiene in pharmaceutical industries. *Annals of Work Exposures and Health*, 68, 1. <https://doi.org/10.1093/ANNWEH/WXAE035.272>

Ngwenya, S., Mashau, N., Mhlongo, E., Traoré, A., & Mudau, A. (2023). Health risk management framework for heavy metals and cyanide in Kwekwe city of Zimbabwe: a mixed-method study protocol. *Journal of Health*, 42(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/S41043-023-00367-5>

Pal, G. R., Arya, R. K. K., Joshi, T., & Bisht, D. (2020). A REVIEW ON CLEANING VALIDATION IN PHARMACEUTICAL INDUSTRY. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 8(3), 138-146. <https://doi.org/10.22270/JDDT.V8I3.1695>

Quispe Liñan, J. Á., & Torres Zavala, C. Y. (2022). Control de los factores operacionales en la cianuración en carbón en pulpa para mejorar la recuperación de oro en la Minera Colibri S.A.C. [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjpsc.edu.pe/handle/20.500.14067/8791>

Ríos Osegueda, B. J., Torres Morales, W. A., & Guevara Ríos, N. P. (2023). “Diseño de guía de manejo responsable de productos Químicos en el proceso de Extracción Artesanal de Oro, en el sector de Lourdes, Municipio de Villanueva; departamento de Chinandega en el periodo Julio-Noviembre 2023”. [Tesis de grado]. Universidad de Ciencias Comerciales.

Selamolela, S. (2023). Cyanide Code Certification Audit Mining Operations.





Singh, D., Prajapati, U., Singh, A., Tumdam, R., & Sharma, S. (2025). Forensic toxicology perspective on cyanide poisoning originating from natural seeds. *Discover Toxicology*, 2(1), 1–20.
<https://doi.org/10.1007/S44339-025-00041-X>

Thomas, F. (2023). Preservación de la integridad de los procesos: la importancia de la limpieza de equipos | Tecnología farmacéutica. *PharmTec*, 47, 22–26.
https://www.pharmtech.com/view/preserving-process-integrity-the-importance-of-equipment-cleaning?utm_source=chatgpt.com

Vaca, K., Arregui, D., & Espinoza, P. (2024). Chemical, ecotoxicological characteristics, environmental fate, and treatment methods applied to cyanide-containing wastewater. *Clean Water 2024*, 7(1), 1–16.
<https://doi.org/10.1038/s41545-024-00392-9>

Verbrugge, B., Lanzano, C., & Libassi, M. (2021). The cyanide revolution: Efficiency gains and exclusion in artisanal- and small-scale gold mining. *Geoforum*, 126, 267–276.
<https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2021.07.030>

