

Organizado por:



Programa Internacional
de Buenas Prácticas en
Gestión de Proyectos
Mineros

Conformado por:



Project
Management
Institute.
Sur Perú



Project
Management
Institute.
Norte Chile



Project
Management
Institute.
Andes Patagonia,
Argentina



#1

GESTIÓN DEL RIESGO DE CAPITAL HUMANO EN LOS MEGAPROYECTOS DEL HUB ANDINO: PROPUESTA PARA INTEGRAR SALUD OCUPACIONAL, PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD



Redacción a cargo de:

Ing. Martin Olano



Fundador de Pulso Salud | Ex-Ejecutivo de
Proyectos Mineros

ÍNDICE

I. RESUMEN	
Presenta la problemática, el objetivo del estudio y la relevancia de integrar el riesgo de capital humano en la gestión de megaproyectos mineros.....	03
II. INTRODUCCIÓN	
Expone el contexto global del cobre, los desafíos de los megaproyectos mineros andinos y la necesidad de considerar la salud laboral como factor estratégico.	04
III. METODOLOGÍA	
Describe la revisión documental de literatura científica y técnica sobre minería, gestión de riesgos, Front-End Loading y trabajo en altura.	05
IV. RESULTADOS	
Analiza la relación entre altitud, hipoxia, fatiga y desempeño laboral, evidenciando el impacto del capital humano en la ejecución de proyectos mineros.	06
V. DISCUSIÓN	
Interpreta los hallazgos y plantea la importancia de integrar el riesgo de capital humano dentro de la gestión moderna de megaproyectos.	09
VI. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	
Presenta mecanismos para incorporar el riesgo humano en el registro de riesgos, la vigilancia ocupacional y la planificación del proyecto.	10
VII. CONCLUSIÓN	
Destaca que gestionar adecuadamente la salud de la fuerza laboral es esencial para mejorar la confiabilidad, productividad y sostenibilidad de los proyectos mineros.	11
VIII. REFERENCIAS	
Fuentes académicas e institucionales que sustentan el análisis y las propuestas desarrolladas en el estudio.	12

RESUMEN

Los megaproyectos mineros del Hub Andino enfrentan una combinación excepcional de presión por acelerar la oferta de cobre, complejidad geográfica, ejecución a gran altitud y escasez de talento especializado. En este contexto, la gestión tradicional de riesgos tiende a priorizar variables geológicas, regulatorias, financieras y contractuales, mientras que la dimensión humana suele tratarse de forma periférica o reactiva.

Este artículo propone formalizar el riesgo de capital humano como una categoría de riesgo de primera clase dentro de los marcos de gestión de proyectos aplicados a la minería, especialmente en iniciativas ubicadas por encima de los 3,000 metros sobre el nivel del mar.

Se plantea que la salud funcional de la fuerza laboral no es un aspecto accesorio de los recursos humanos, sino una variable crítica que incide en la productividad, la seguridad, la continuidad operativa y el retorno del capital invertido.

A partir de una revisión de literatura especializada sobre la demanda de cobre, los sobrecostos de megaproyectos, el Front-End Loading (FEL), la gestión de riesgos y los efectos fisiológicos de la altitud, se desarrolla un marco conceptual y operativo para incorporar el capital humano desde las fases tempranas del ciclo de vida del proyecto.

La propuesta enfatiza la necesidad de vigilancia médica continua, el modelamiento temprano del riesgo y el diseño de estrategias preventivas integradas al FEL y a los registros de riesgo del proyecto.

Palabras clave: *riesgo de capital humano; megaproyectos mineros; cobre; altitud; vigilancia ocupacional; gestión de riesgos; FEL; productividad; Hub Andino.*



INTRODUCCIÓN

La **demanda global de cobre** se encuentra en una trayectoria de crecimiento sostenido, impulsada por la electrificación, la expansión de las energías renovables, la digitalización industrial y el desarrollo de infraestructura crítica asociada a la **transición energética**.

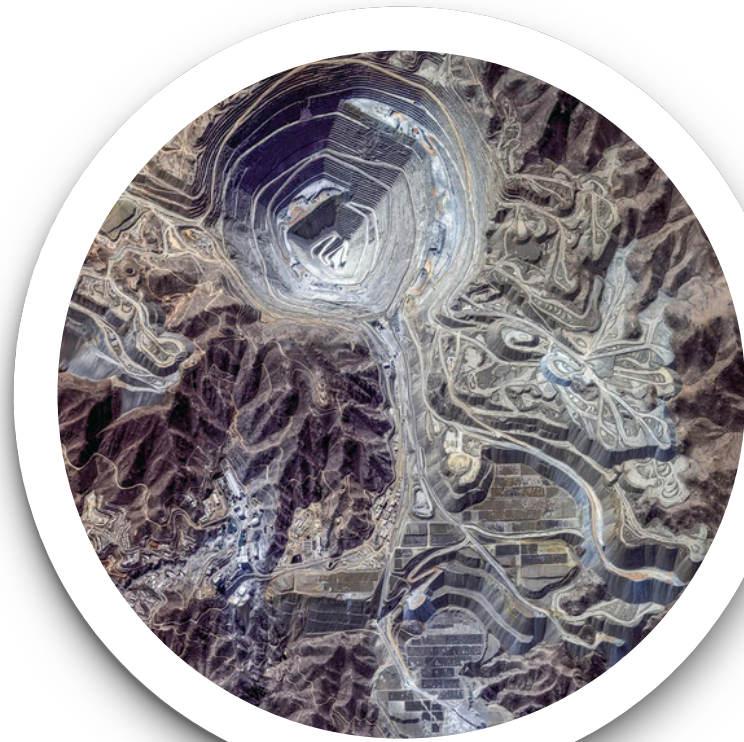
Este incremento de la demanda coincide con una oferta minera sometida a **restricciones estructurales**, como una mayor complejidad geológica, una menor ley de mineral, plazos de desarrollo prolongados y una fuerte presión de capital. La literatura reciente confirma que los **megaproyectos mineros** presentan con frecuencia sobrecostos y retrasos significativos, lo que refuerza la necesidad de comprender con mayor precisión los factores que inciden en su desempeño.

En el **Hub Andino**, compuesto por Chile, Perú y Argentina, esta situación adquiere especial relevancia. La región concentra una parte sustantiva de los **proyectos de cobre más grandes del mundo** y, al mismo tiempo, presenta condiciones operativas exigentes: **altitud elevada, climas extremos, dispersión geográfica, presión social y creciente competencia por capital humano calificado**.

A diferencia de otras industrias, la minería andina opera en entornos donde el cuerpo humano está sometido a **estrés fisiológico persistente**, especialmente por la **hipoxia intermitente crónica**, los turnos rotativos y las exigencias físicas y cognitivas sostenidas. En consecuencia, la **salud de la fuerza laboral** no puede seguir considerándose una variable secundaria.

Su salud, su adaptación fisiológica, su nivel de fatiga, su bienestar mental y su sostenibilidad operativa.

Influye directamente en el **costo, el cronograma, la seguridad y la continuidad del proyecto**. Por ello, una **gestión moderna de megaproyectos** debe incorporar esta dimensión desde las **fases tempranas de definición, diseño y factibilidad**.



Mina Toquepala (Tacna - Perú)

METODOLOGÍA

Se realizó una **revisión documental narrativa y analítica** de literatura académica, técnica e institucional relacionada con cinco ejes:

- Demanda mundial de cobre.
- Desempeño de megaproyectos mineros.
- Gestión de riesgos en proyectos.
- Front-End Loading (FEL).
- Efectos de la altitud sobre la salud laboral.

La selección de fuentes priorizó **organismos multilaterales, revistas científicas, institutos profesionales y publicaciones técnicas** de reconocida trazabilidad.

El propósito metodológico no fue **estimar relaciones de causalidad estadística** ni construir un **modelo econométrico**, sino desarrollar una **propuesta conceptual robusta** y aplicable a **megaproyectos mineros del Hub Andino**. Para ello, se organizaron las fuentes en **tres bloques de evidencia**:

1 Contexto global del cobre y necesidad de inversión minera.



2 Desviaciones de costo y cronograma en megaproyectos.

3 Evidencia clínica y ocupacional sobre trabajo en altura, hipoxia y fatiga.

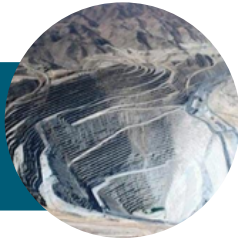


RESULTADOS

Demanda creciente de cobre

La **demanda global de cobre** continúa expandiéndose por razones estructurales. Organismos internacionales y consultoras especializadas coinciden en que la **electrificación, las redes eléctricas, los vehículos eléctricos y la infraestructura digital** seguirán elevando la necesidad del metal rojo. Sin embargo, la oferta enfrenta **restricciones estructurales**:

1 Nuevos yacimientos más difíciles de desarrollar



2 Costos crecientes



3 Plazos prolongados para llevar un proyecto a producción



Esto implica que el valor ya no reside únicamente en **descubrir recursos minerales**, sino en **ejecutar proyectos complejos con alta confiabilidad**.

Sobrecostos en megaproyectos

La literatura especializada en **delivery de megaproyectos mineros** muestra que los **desvíos de presupuesto y cronograma** constituyen una constante, más que una excepción. Entre las causas más frecuentes se encuentran:

- Subestimación temprana de costos
- Optimismo excesivo en la planificación
- Definición insuficiente en etapas iniciales
- Cambios de alcance
- Problemas contractuales
- Alta complejidad operativa

En este contexto, los **factores humanos** suelen aparecer como **costos indirectos o elementos de seguridad**, pero rara vez son tratados como un **riesgo estratégico de proyecto**.

Impacto de la altitud en trabajadores

Los **entornos mineros andinos** exponen a los trabajadores a condiciones de **hipoxia, adaptación fisiológica permanente y mayor demanda cardiovascular**. La evidencia biomédica indica que la **exposición crónica intermitente a gran altitud** puede asociarse con:

1
Alteraciones
cardiovasculares



2
Fatiga persistente



3
Trastornos del sueño



4
Efectos cognitivos que
afectan el rendimiento



Esto resulta especialmente relevante en sistemas **FIFO o rotativos**, donde trabajadores provenientes de zonas de menor altitud experimentan **ciclos repetidos de exposición y recuperación**, generando una **carga fisiológica acumulativa**.

Capital humano como riesgo transversal

La **salud funcional de la fuerza laboral** impacta múltiples variables del proyecto. Una **condición médica no detectada o mal gestionada** puede traducirse en:

1
Ausentismo



2
Rotación de personal



3
Reducción del
rendimiento



4
Incidentes de seguridad



5

Mayor presión sobre la
supervisión



6

Pérdida de conocimiento
tácito



A nivel de proyecto, estos efectos no siempre son visibles de inmediato; sin embargo, **se acumulan progresivamente y terminan afectando el desempeño global**. Por ello, el **capital humano debe interpretarse como un riesgo transversal**, que interactúa con el cronograma, la seguridad, la productividad y los costos.

Importancia de la integración temprana

Los marcos de **Front-End Loading (FEL)** sostienen que las decisiones tomadas en las **fases tempranas del proyecto** tienen un impacto desproporcionado sobre su éxito. Aplicado al **riesgo de capital humano**, esto implica que aspectos como:

- Perfil de salud ocupacional
- Sistemas de rotación laboral
- Infraestructura médica
- Protocolos de vigilancia sanitaria
- Estrategias de respuesta ante eventos médicos

Deben definirse **antes de la fase de ejecución**.

Cuando estas decisiones se postergan, **el costo de corrección aumenta significativamente y la capacidad de rediseño disminuye**, afectando la eficiencia y sostenibilidad del proyecto.

DISCUSIÓN

La principal contribución de esta propuesta es conceptual: desplaza el **capital humano** desde la periferia administrativa hacia el **centro de la gestión de riesgos del proyecto**. Esto no implica reducir la complejidad de la salud ocupacional a una lógica puramente financiera, sino reconocer que la **salud funcional de la fuerza laboral** tiene implicancias directas sobre el **desempeño del activo minero**. En megaproyectos, la diferencia entre un personal **funcionalmente sostenible** y uno **degradado en términos de salud y rendimiento** no es marginal; puede determinar el **éxito o fracaso de la ejecución del proyecto**.

La integración del **Riesgo de Capital Humano** también responde a una necesidad de coherencia con la **gestión moderna de proyectos**. Si el riesgo se define como **cualquier evento o condición incierta que, de ocurrir, afecta uno o más objetivos del proyecto**, entonces la **salud de la fuerza laboral** cumple claramente esa condición. Factores como la **fatiga persistente, la desadaptación a la altura, los trastornos cardiometabólicos o la pérdida de capacidad cognitiva** pueden alterar de manera significativa los **objetivos de costo, tiempo, calidad y seguridad**.

Un segundo aporte de la propuesta es **operativo**. Permite traducir el discurso de **salud ocupacional** a un lenguaje comprensible para **patrocinadores, inversionistas y gerencias de proyecto**. Cuando la salud se vincula con **continuidad operativa, productividad y retorno del capital**, deja de percibirse como un **costo periférico** y pasa a considerarse una **inversión en la confiabilidad del proyecto**. Esta transformación resulta especialmente relevante en una industria que opera **bajo fuertes restricciones de capital y altas expectativas de ejecución**.

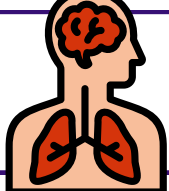
Finalmente, la propuesta tiene implicancias para la **sostenibilidad de largo plazo**. Un megaproyecto que **agota a su fuerza laboral, incrementa la rotación o ignora los procesos de adaptación fisiológica a la altura** puede cumplir hitos de corto plazo, pero comprometer su desempeño en el mediano y largo plazo. En cambio, un proyecto que incorpora **vigilancia médica continua, estrategias de prevención y un diseño organizacional adaptado a la realidad andina** contribuye a construir resiliencia operativa y sostenibilidad del proyecto.



PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Se recomienda incorporar el **Riesgo de Capital Humano** mediante cinco mecanismos principales:

01  **Clasificación formal del riesgo** en el registro maestro del proyecto.

02 **Definición de un perfil fisiológico y ocupacional por fase**, considerando variables como altitud, sistema de turnos y tipo de exposición laboral. 

03  **Implementación de vigilancia médica continua**, más allá del examen puntual de ingreso.

04 **Desarrollo de indicadores de desempeño humano**, vinculados a ausentismo, fatiga, rotación de personal y seguridad operacional. 

05  **Diseño de un plan de respuesta temprana** frente a eventos o señales de deterioro en la salud funcional de la fuerza laboral.

Este enfoque resulta especialmente relevante en **proyectos ubicados por encima de los 3,000 metros sobre el nivel del mar**, donde la **fisiología del trabajo se ve significativamente modificada por las condiciones de altitud**. Asimismo, es aplicable a carteras mineras que combinan fuerza laboral local e importada, operan bajo **sistemas de rotación extensos** y enfrentan **alta presión de cronograma**.

Su implementación puede iniciarse desde la **fase de factibilidad**, consolidarse durante **Front-End Engineering Design (FEED)** y fortalecerse en la **fase de construcción del proyecto**.

CONCLUSIÓN

Los **megaproyectos mineros del Hub Andino** operan en un contexto de **alto valor estratégico y elevada complejidad de ejecución**.

En este escenario, el **capital humano** no puede seguir siendo tratado como una variable secundaria dentro de la gestión del proyecto. La evidencia revisada muestra que factores como la **altitud, la fatiga, la hipoxia intermitente y la carga cardiometabólica afectan de manera real la capacidad funcional de los trabajadores**, con implicancias directas sobre la **productividad, la seguridad y la continuidad operativa**.

En consecuencia, este artículo sostiene que el **Riesgo de Capital Humano** debe integrarse **formalmente** a la **gestión de megaproyectos mineros desde las fases tempranas del ciclo de vida del proyecto**. Incorporar esta dimensión no solo mejora la **calidad de la planificación**, sino que también fortalece la **confiabilidad operativa** y la **capacidad del proyecto para generar valor sostenible**.

En la **minería andina**, gestionar adecuadamente la **salud funcional de la fuerza laboral** ya no es un complemento deseable, sino una **condición indispensable para ejecutar megaproyectos con éxito**.

Riesgo de Capital Humano en Megaproyectos Mineros del Hub Andino



REFERENCIAS

- International Energy Agency. (2025). *Global critical minerals outlook 2025*. IEA.
- McKinsey & Company. (2024). *The capex crystal ball: Beating the odds in mining project delivery*. McKinsey & Company.
- Organización Internacional del Trabajo. (s. f.). *Salud y seguridad en trabajos de minería*. OIT.
- Project Management Institute. (2019). *The standard for risk management in portfolios, programs, and projects*. PMI.
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.)*. PMI.
- PLOS ONE. (2024). *Cardiovascular disability and chronic intermittent hypoxia in miners at high altitude*.
- PubMed. (2021). *Health effects of chronic intermittent hypoxia at high altitude among Chilean miners: Rationale, design, and baseline results of a longitudinal study*.



INFORMACIÓN DE CONTACTO:

Ing. Martin Olano

Fundador de Pulso Salud | Ex-Ejecutivo de
Proyectos Mineros

- **LinkedIn:** [linkedin.com/in/molano](https://www.linkedin.com/in/molano)

IMPULSANDO LA EXCELENCIA EN LA GESTION DE PROYECTOS EN LA INDUSTRIA MINERA DE LATINOAMERICA



PMI – PROYECTOS MINEROS

PROGRAMA INTERNACIONAL DE BUENAS PRÁCTICAS EN GESTIÓN DE PROYECTOS EN MINERÍA

¡SÍGUENOS EN NUESTRAS REDES SOCIALES!



Project
Management
Institute.
Sur Perú



Project
Management
Institute.
Norte Chile



Project
Management
Institute.
Andes Patagonia,
Argentina



@pmisurperu



@pminortechile



@andespatagonia



@pmisurperu



@PMINorteChile



@PMINorteChile



@pmisurperu



@nortechileproyectos



@pmiandespatagonia