

ARTÍCULOS

Adaptación del PMBOK en la Gestión de Proyectos Mineros a Cielo Abierto

Adaptation of PMBOK in Open-Pit Mining Project Management



Daniel Rodrigo Alegría-Calero¹, Lenin Andrés Guamán-Acuña², Andy Leonardo Robles-Riofrío³, Steven Fernando Toapanta-Delgado⁴, Anderson Steven Tonato-Pillajo⁵



dralegria@uce.edu.ec

¹ Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Quito, Ecuador.



laguamana1@uce.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador. Carrera de Ingeniería de Minas. Quito, Ecuador.



alroblesr@uce.edu.ec

³ Universidad Central del Ecuador. Carrera de Ingeniería de Minas. Quito, Ecuador.



sftoapanta@uce.edu.ec

⁴ Universidad Central del Ecuador. Carrera de Ingeniería de Minas. Quito, Ecuador.



astonato@uce.edu.ec

⁵ Universidad Central del Ecuador. Carrera de Ingeniería de Minas. Quito, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 18, núm. 2, 2024

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 05 septiembre 2024

Aprobación: 19 noviembre 2024

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.5936>

Autor de correspondencia:

dralegria@uce.edu.ec

RESUMEN

La minería de cielo abierto es una actividad de alta complejidad y riesgo, tanto en el aspecto ambiental como en el operacional, que demanda una gestión eficiente para maximizar la productividad y minimizar los impactos negativos. Este estudio se centra en la adaptación de los principios de la séptima edición del Project Management Body of Knowledge (PMBOK) a este sector específico, ofreciendo una guía técnica y detallada para la gestión de proyectos mineros. Dada la magnitud de las operaciones y el significativo impacto ambiental asociado, surge la necesidad de un marco de gestión estructurado y adaptado a las particularidades de la minería de cielo abierto. El objetivo principal es adaptar los procesos y prácticas del PMBOK a las necesidades de este tipo de minería, desarrollando una guía técnica que incluya herramientas específicas para el sector. La metodología del estudio abarca una revisión exhaustiva del PMBOK y su aplicación práctica en el contexto de la minería de cielo abierto, utilizando técnicas como la Ruta Crítica (CPM), diagramas de Gantt y software especializado en gestión de proyectos, tales como Microsoft Project y Primavera P6. Como resultados se obtiene la adaptación del PMBOK en la gestión de proyectos mineros a cielo abierto, mismo que busca mejorar la planificación, gestionar los riesgos ambientales y operacionales de manera más efectiva y facilitar una comunicación más eficiente entre los interesados. Además, se espera ver reflejada una reducción en los tiempos de inactividad y una mejora en el control de costos. Esta adaptación ofrece un enfoque estructurado y flexible que puede ajustarse a las condiciones cambiantes del proyecto, mejorando la eficiencia operativa y asegurando una mayor sostenibilidad en los proyectos de minería de cielo abierto.

Palabras claves: minería; PMBOK; gestión; sostenibilidad; cielo abierto



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar: Alegría-Calero, D. R., Guamán-Acuña, L. A., Robles-Riofrío, A. L., Toapanta-Delgado, S. F., & Tonato-Pillajo, A. S. (2024). Adaptación del PMBOK en la gestión de proyectos mineros a cielo abierto. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 18(2), 153-161.

<https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.7159>

ABSTRACT

Open-pit mining is a highly complex and risky activity, both environmentally and operationally, requiring efficient management to maximize productivity and minimize negative impacts. This study focuses on adapting the principles of the seventh edition of the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) to this specific sector, offering a technical and detailed guide for mining project management. Given the scale of operations and the significant associated environmental impact, there is a need for a structured management framework tailored to the particularities of open-pit mining. The main objective is to adapt the PMBOK processes and practices to the needs of this type of mining, developing a technical guide that includes sector-specific tools. The study's methodology involves a comprehensive review of PMBOK and its practical application in the context of open-pit mining, using techniques such as the Critical Path Method (CPM), Gantt charts, and specialized project management software like Microsoft Project and Primavera P6. The results yield an adaptation of PMBOK for managing open-pit mining projects, aiming to improve planning, manage environmental and operational risks more effectively, and facilitate more efficient communication among stakeholders. Additionally, a reduction in downtime and improved cost control are expected outcomes. This adaptation provides a structured yet flexible approach that can adjust to changing project conditions, enhancing operational efficiency and ensuring greater sustainability in open-pit mining projects.

Keywords: mining; PMBOK; management; sustainability; open pit

INTRODUCCIÓN

La minería a cielo abierto es una industria caracterizada por su alta complejidad y elevado nivel de riesgo, debido a sus operaciones a gran escala y su considerable impacto ambiental. En la literatura actual, se ha documentado ampliamente que, a pesar de los avances en metodologías de gestión, persisten desafíos significativos en la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos mineros (Imata, 2023). Los estudios recientes destacan que la aplicación de métodos de gestión adaptados puede optimizar tanto la ejecución como el control de estas operaciones (New *et al.*, 2022).

El problema subyacente en la gestión de proyectos mineros es la falta de un marco específico que aborde adecuadamente las particularidades de las operaciones de cielo abierto, lo que puede resultar en una planificación ineficaz y una gestión deficiente de los riesgos y la sostenibilidad (Fortuny-Santos *et al.*, 2021). Esta carencia de adaptación adecuada en los métodos de gestión conduce a ineficiencias operativas y a un impacto ambiental negativo significativo.

La cuestión principal que motiva este estudio es ¿De qué manera pueden los principios del PMBOK ser modificados para abordar eficazmente las necesidades específicas de la minería de cielo abierto? La hipótesis planteada es que al ajustar los principios del PMBOK a las particularidades del sector minero, se puede lograr una mejora en la gestión de proyectos, optimizando la eficiencia y sostenibilidad de este. Ejemplos de operaciones mineras que han enfrentado desafíos en la gestión incluyen El Soldado, ubicada en la Región de Valparaíso, Chile, y operada por Anglo American, donde la implementación de sistemas de control de gestión ha sido esencial para alinear objetivos estratégicos y mejorar la rentabilidad. Otro ejemplo es Antucoya, situada en el Desierto de Atacama, Chile, también bajo la operación de Antofagasta Minerals, que ha enfrentado retos significativos en la gestión del agua y el uso sostenible de recursos. Un aspecto crítico en la gestión de proyectos mineros es la integración efectiva de la planificación y la ejecución para manejar los riesgos ambientales y operacionales. Investigaciones recientes indican que la falta de adaptación de marcos de gestión existentes a las especificidades de la minería de cielo abierto puede resultar en una gestión inadecuada de los recursos y un aumento de los costos operacionales (Badri *et al.*, 2011). La implementación de herramientas de gestión específicas, como la Ruta Crítica y los diagramas de Gantt, puede proporcionar una visión más clara de las interdependencias y plazos, mejorando así la toma de decisiones y la eficiencia general del proyecto (Herrera, 2018).

Además, la necesidad de una comunicación eficaz entre los diversos interesados en los proyectos mineros es fundamental para el éxito de la gestión. Los estudios sugieren que una comunicación deficiente puede llevar a malentendidos y retrasos en la implementación de estrategias de gestión. El uso de un enfoque estructurado basado en el PMBOK puede facilitar una comunicación más efectiva y una coordinación más estrecha entre las partes interesadas, contribuyendo a una ejecución más fluida y a la reducción de conflictos (Miller y Clark, 2022). Por lo tanto, este estudio justifica la necesidad de implementar el PMBOK al demostrar que una gestión estructurada puede abordar los desafíos existentes en el sector y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones de minería a cielo abierto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para la realización de esta investigación, se utilizaron principalmente fuentes bibliográficas y documentales, enfocadas en dos áreas principales:

1. Guía del PMBOK 7ª Edición: La principal referencia para este estudio fue la "Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos" (PMBOK) en su séptima edición, publicada por el Project Management Institute (PMI) (2021). Este documento proporcionó el marco teórico y las mejores prácticas en la gestión de proyectos.

2. Literatura sobre Minería a Cielo Abierto: Se consultaron artículos científicos, normas y guías técnicas específicas sobre la importancia de la gestión dentro de los procesos mineros a cielo abierto. En estos se abordan temas relacionados con la gestión de proyectos, además que se explora el comportamiento de la gestión de proyectos bajo un enfoque de tiempo, recursos humanos, calidad y costo.

Métodos

El estudio se llevó a cabo mediante una metodología de investigación literaria y documental, siguiendo los siguientes pasos:

1. Revisión de la Guía del PMBOK 7ª Edición: Se realizó una lectura detallada y análisis exhaustivo de la séptima edición de la guía del PMBOK. Se identificaron los principales cambios y novedades introducidos en esta edición, así como los procesos y principios fundamentales de la gestión de proyectos que presenta.

2. Análisis de la Literatura sobre Minería a Cielo Abierto: Se revisaron las fuentes bibliográficas relevantes sobre los procesos y actividades características de la minería a cielo abierto. Este análisis permitió comprender las particularidades de la gestión de proyectos en este contexto específico.

3. Comparación y Adaptación: Se llevó a cabo una comparación entre los principios y procesos del PMBOK y las necesidades y prácticas específicas de algunos proyectos mineros a cielo abierto, tales como la baja ley de mineral, la gestión del impacto ambiental, la seguridad de los trabajadores y la optimización del uso de recursos. Este paso implicó identificar áreas de convergencia y divergencia, así como las posibles adaptaciones necesarias para aplicar efectivamente el PMBOK en el contexto minero.

4. Elaboración de la Guía Adaptada: Con base en el análisis y comparación anterior, se elaboró una guía adaptada del PMBOK 7ª Edición, enfocada específicamente en los procesos de minería a cielo abierto. Esta guía incluye recomendaciones, adaptaciones y ejemplos prácticos para la gestión de proyectos en este sector.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Instructivo para la Gestión de Proyectos Mineros a Cielo Abierto

I. Introducción

Este instructivo establece las directrices estándar para la gestión de proyectos mineros a cielo abierto, basándose en los principios del Project Management Body of Knowledge (PMBOK). Se busca proporcionar un marco de referencia adaptable a las particularidades de cada proyecto.

II. Alcance

Este instructivo aplica a todas las etapas de un proyecto minero a cielo abierto, desde la fase conceptual hasta el cierre del proyecto (Chen *et al.*, 2019). Abarca la gestión de los interesados, la planificación, la ejecución, el control y el cierre del proyecto, teniendo en cuenta los factores específicos de la industria minera (Maley, 2024).

III. Marco de Referencia: Principios del PMBOK

Este instructivo se basa en los 12 principios y 8 dominios de desempeño del PMBOK, adaptándolos al contexto de la minería a cielo abierto:

A. Principios de la Dirección de Proyectos:

- **Enfoque en el Valor:** El éxito de un proyecto minero se mide por su capacidad de generar valor, considerando factores económicos, ambientales y sociales. Esto implica alinear el proyecto con la estrategia de la organización y las expectativas de los stakeholders (Mudd, 2010).
- **Adaptabilidad:** Los proyectos mineros enfrentan alta incertidumbre debido a factores como las fluctuaciones en los precios de los metales, las variaciones geológicas, los cambios regulatorios, las condiciones climáticas y los riesgos sociales o ambientales. Estos factores pueden impactar en la viabilidad y rentabilidad de los proyectos. Por ende, se requiere un enfoque flexible que permita adaptar la planificación y ejecución a los cambios del entorno (Yakovleva y Nickless, 2022).
- **Liderazgo:** Un liderazgo efectivo es fundamental para guiar al equipo, fomentar la colaboración, la comunicación y la toma de decisiones (Chaudhry *et al.*, 2012).

Dominios de Desempeño:

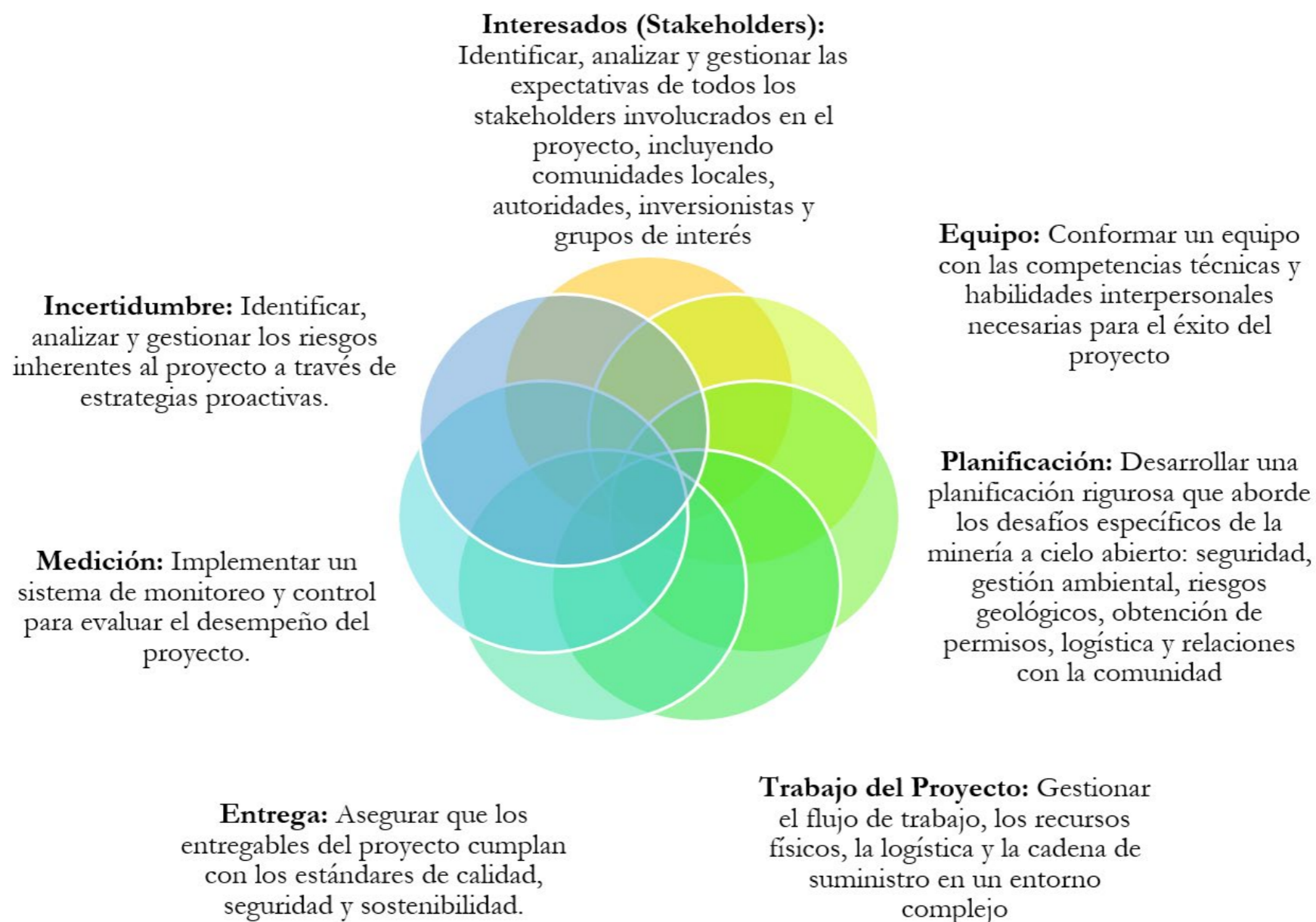


FIGURA 1

Dominios de desempeño relevantes para minería a cielo abierto

IV. Fases del Proyecto Minero a Cielo Abierto

Este instructivo divide la gestión del proyecto en fases que se adaptan al ciclo de vida típico de un proyecto minero (Figura 2):



FIGURA 2

Fases de proyecto minero

V. Herramientas y Técnicas de Gestión

Para una gestión eficaz, este instructivo recomienda utilizar herramientas y técnicas como:

- **Diagrama de Gantt:** Para la planificación y seguimiento del cronograma del proyecto.
- **Análisis de Valor Ganado (EVA):** Para evaluar el desempeño del proyecto en términos de costo y tiempo.
- **Análisis de Riesgos:** Para identificar, analizar y gestionar los riesgos.
- **Software de Gestión de Proyectos:** Para facilitar la planificación, la comunicación y el control del proyecto.

VI. Comunicación y Reporte

Establecer un sistema de comunicación efectivo para informar a los stakeholders sobre el progreso del proyecto considerando el laborar informes periódicos que documenten el avance, los desafíos y las medidas correctivas implementadas (Acevedo Díaz *et al.*, 2021). Considerando además la meticulosidad al momento de liberar información valiosa, a quien se la liberará y la mejor manera de hacerlo, esto permite un éxito del proyecto afianzando relaciones de confianza, aumentando la fidelidad y las prácticas éticas, fomentando una competencia discreta, leal y responsable (Hallahan *et al.*, 2007).

VII. Mejora Continua

Implementar un proceso de lecciones aprendidas para identificar áreas de mejora en la gestión del proyecto además de actualizar este instructivo con base en la experiencia y las mejores prácticas, permite mantener un margen de competencia en consideración de otros proyectos ya sean propios o externos, desempeñando un papel importante en la adaptabilidad a los cambios constatados tanto, tecnológicos, sociales, políticos y ambientales (Lecoivre, 2016). Es en este punto donde las fuentes de información de una organización deben ser compartidas, en los casos de éxito entre todos sus proyectos, estos fortalecen la mejora y la ejecución futura de las actividades (Hartley, 2018) (Figura 3).

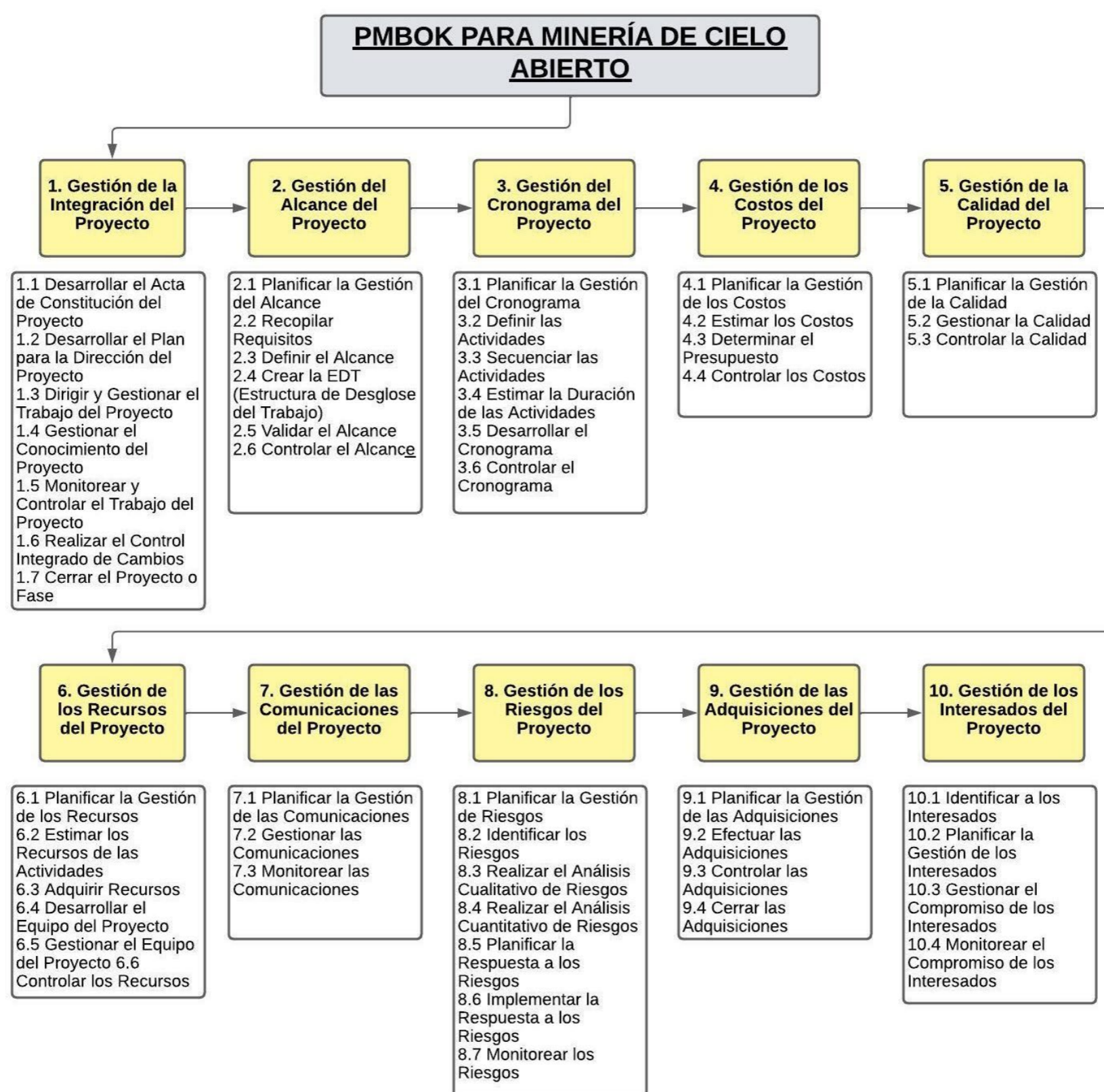


FIGURA 3
Gestión de proyectos para minería de cielo abierto

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que una planificación y control adecuados son fundamentales para el éxito de los proyectos de minería a cielo abierto. La integración de todas las áreas de conocimiento del PMI permitió una gestión eficiente y una mejor respuesta a los riesgos. En la Tabla 1 se presentan los hitos clave a las diferentes fases del proyecto.

TABLA 1
Índice de contenidos para la adaptación del PMBOK a proyectos de minería de cielo abierto

Capítulo	Descripción
I	Introducción
II	Alcance
III	Marco de referencia: Principios del PMBOK
IV	Fases del proyecto minero a cielo abierto
V	Herramientas y técnicas de gestión
VI	Comunicación y reporte
VII	Mejora continua

La adaptación del PMBOK a la minería de cielo abierto muestra un impacto significativo en la gestión de proyectos al proporcionar un enfoque estructurado que aborda las características únicas del sector, mejorando la planificación, la gestión de riesgos y la comunicación. Aunque esta adaptación ofrece ventajas notables en términos de eficiencia operativa y control de costos, su implementación puede enfrentar desafíos como la resistencia al cambio y la necesidad de capacitación especializada. Comparado con métodos de gestión tradicionales, el PMBOK adaptado proporciona una gestión más eficaz de las complejidades y riesgos específicos de la minería a cielo abierto. Uno de los indicadores clave para la medición de una buena gestión es el índice de desempeño de costos (CPI) el cual refleja si un proyecto está sobre o infra presupuestado. Valega Contreras y Natividad Pimentel (2023) presenta la comparación entre el CPI del proyecto "Ingeniería de factibilidad del sistema de filtrado de relaves en una unidad minera" antes y después de la implementación del PMBOK, dando como resultados un aumento del CPI de 0.30 a 1.0, lo que señala una eficiencia en la utilización de recursos; esto también repercute en una disminución del costo total del proyecto (EAC) de 61 mil dólares a 57 mil dólares. Caso similar presenta Galindos (2023) en la estimación del costo total de la construcción de una carretera de tercera clase donde con la implementación del PMBOK se logró reducir el EAC de 72 millones a 65 millones de soles.

Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que la efectividad de la adaptación dependerá de una correcta implementación y ajuste a las condiciones cambiantes del proyecto. Además, la adopción de este enfoque no solo mejora la eficiencia a corto plazo, sino que también promueve la sostenibilidad a largo plazo mediante la integración de prácticas responsables y tecnologías limpias, subrayando la importancia de la sostenibilidad en la minería moderna.

CONCLUSIONES

El estudio concluye que la implementación de una gestión estructurada, basada en las mejores prácticas, tiene el potencial de optimizar notablemente los resultados de los proyectos de minería a cielo abierto. Para elevar la eficacia y sostenibilidad de estas operaciones, es fundamental seguir investigando y ajustando las metodologías de gestión de proyectos a las características específicas de cada iniciativa, teniendo en cuenta factores geológicos, ambientales y económicos particulares.

Los resultados de este estudio destacan la relevancia de una gestión integral y meticulosa en cada área de desempeño de los proyectos de minería a cielo abierto. La implementación de las mejores prácticas y metodologías presentadas en la Guía PMBOK Séptima Edición conlleva mejoras significativas en la eficiencia, efectividad y satisfacción de los interesados. Además, la adopción de tecnologías avanzadas y enfoques híbridos en la gestión de proyectos se posiciona como una tendencia clave para el futuro de la industria minera.

Un liderazgo sólido y una cultura de colaboración dentro del equipo son esenciales para garantizar la eficiencia operativa y el éxito del proyecto. Los equipos bien formados y respaldados tienen una mayor capacidad para cumplir con los plazos establecidos y gestionar los costos de manera efectiva. Además, una planificación detallada que incorpore técnicas avanzadas de modelado y simulación resulta eficaz para anticipar y mitigar riesgos.

RECOMENDACIONES

La capacitación continua del personal es fundamental. Los programas de formación deben centrarse en el uso de herramientas del PMBOK y en técnicas avanzadas de gestión de proyectos, asegurando que el equipo esté preparado para aplicar metodologías específicas y utilizar software especializado como Microsoft Project o Primavera P6.

Es importante establecer un sistema de monitoreo y evaluación regular para revisar el progreso del proyecto y hacer ajustes necesarios. Esto permitirá identificar y abordar problemas de manera oportuna, garantizando que el proyecto se mantenga en la dirección correcta.

Una comunicación efectiva entre todos los interesados es crucial para el éxito del proyecto. Se deben establecer canales de comunicación claros y realizar reuniones periódicas para coordinar esfuerzos, discutir el progreso y resolver problemas de manera eficiente.

REFERENCIAS

- Acevedo Díaz, J. A., Garcés Gutiérrez, D. I., & Hernández García, D. (2021) "Gestión de la comunicación en programas de responsabilidad social en el sector minero", *Investigación & Desarrollo*, 29(1), pp. 69–98. Disponible en: <https://doi.org/10.14482/INDES.29.1.658.45>
- Badri, A., Nadeau, S., & Gbodossou, A. (2011) "Integration of OHS into Risk Management in an Open-Pit Mining Project in Quebec (Canada)", *Minerals*, 1(1), pp. 3-29. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/min1010003>
- Chen, J., Brem, A., Viardot, E., & Wong, P.K. (2019) *The Routledge Companion to Innovation Management*. 1ª ed. Londres: Routledge. Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9781315276670>
- Chaudhry, M. S., et al. (2012) "The Impact of Leadership on Project Performance", *Industrial Engineering Letters*, 2(2), pp. 18-24. Disponible en: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/IEL/article/view/1438>
- Fortuny-Santos, J., et al. (2021) "Estudio de la aplicabilidad de lean management en la industria minera", *Dirección y Organización*, (73), pp. 96–106. Disponible en: <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i73.595>
- Galindos Pino, L. A. (2023). *La gestión de costos de la guía PMBOK y su aplicación en la ejecución de la carretera de tercera clase del distrito de Chao - 2022*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Trujillo. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/115073>
- Hallahan, K., Holtzhausen, D., van Ruler, B., Verčič, D., & Sriramesh, K. (2007) "Defining Strategic Communication", *International Journal of Strategic Communication*, 1(1), pp. 3–35. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15531180701285244>
- Hartley, S. (2018) *Project Management: A practical guide to planning and managing projects*. 4ª ed. Londres: Routledge. Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9781003116882>
- Herrera, J. (2018) *El proceso de evaluación de un proyecto minero*. Vol. 2. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <https://oa.upm.es/70265/>
- Imata, V. (2023) *Propuesta de implementación de un proyecto de mejora de procesos hacia la transformación digital de una empresa del sector minero basado en la guía del PMBOK séptima edición 2021*. Tesis de Grado. Universidad Católica de Santa María. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12920/13256>
- Lecoeuvre, L. (2016) *The Performance of Projects and Project Management: Sustainable Delivery in Project Intensive Companies*. 1ª ed. Londres: Routledge Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9781315554785>

- Maley, C.H. (2024) *How Not to Fail at Projects: Stopping the Project Management Insanity Spiral*. 1ª ed. New York: Auerbach Publications. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781003471691>
- Mudd, G.M. (2010) "The environmental sustainability of mining in Australia: Key mega-trends and looming constraints", *Resources Policy*, 35(2), pp. 98-115. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2009.12.001>
- New, M., et al. (2022) "Decision-Making Options for Managing Risk". In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 2539–2654. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.026>
- Project Management Institute (2021) *A guide to the Project Management Body Of Knowledge (PMBOK GUIDE)*. 7th Edition. Project Management Institute. Disponible en: <https://www.pmi.org/standards/pmbok>
- Valega Contreras, O. M., & Natividad Pimentel, J. A. (2023) *Optimización de costos aplicando la herramienta de gestión de proyectos alineado al PMBOK en un proyecto minero de ingeniería*. Tesis de grado. Universidad Tecnológica del Perú. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/9714>
- Yakovleva, N., & Nickless, E. (2022). *Routledge Handbook of the Extractive Industries and Sustainable Development*. 1ª ed. London: Routledge. Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9781003001317>