



Propuesta de implementación de la metodología pmi de gestión de riesgos en el control y seguimiento de proyectos de infraestructura

Ariel René Bustamante Chávez | Cod. 100326145

Sara Andrea Giraldo Arias | Cod. 100325272

Tutor: M. Sc. Jairo Armando Páez Ricardo

Maestría en Gerencia de Proyectos
Facultad de Ciencias Administrativas
Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano
Bogotá D.C., Colombia
2024

CONTENIDO

Resumen.....	1
INTRODUCCIÓN	3
1 PROPÓSITO Y ORGANIZACIÓN	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Propósito de la investigación	5
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Justificación	6
1.5 Tipo de investigación	6
1.6 Organización del estudio	7
2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Marco teórico de la investigación	7
2.2 Marco teórico general.....	12
3 DISEÑO METODOLÓGICO.....	14
3.1 Tipo de investigación	14
3.2 Población, muestra y ficha técnica.....	15
3.3 Identificación y definición de variables	15
3.4 Propuesta modelo teórico	16
3.4.1 Guía de fundamentos de dirección de proyectos y Estándar para la gestión de riesgos del PMI.....	17
3.5 Descripción del instrumento de medición	22
3.6 Validación del instrumento de medición.....	25
3.7 Técnica de recolección de datos.....	25
3.8 Formulación de hipótesis.....	25
3.9 Plan de trabajo o cronograma de la investigación (EDT).....	25
4 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	26

4.1	Descripción de las herramientas utilizadas para el procesamiento de datos	26
4.2	Validación de la confiabilidad de los datos recolectados	26
4.3	Procesamiento y análisis de datos	27
4.3.1	Planificar la gestión de riesgos.....	28
4.3.2	Identificar los riesgos.....	30
4.3.3	Realizar el análisis cualitativo de riesgos	33
4.3.4	Realizar el análisis cuantitativo de riesgos	35
4.3.5	Planificar la respuesta a los riesgos	37
4.3.6	Implementar la respuesta a los riesgos	40
4.3.7	Monitorear los riesgos	46
5	CONCLUSIONES, CONSIDERACIONES FINALES Y FUTURAS	
	LINEAS DE INVESTIGACIÓN	50
5.1	Conclusiones de la investigación	50
5.2	Consideraciones finales	51
5.3	Futuras líneas de investigación	51
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Riesgo ALARP: As Low As Reasonably Practicable (Tan bajo como sea razonablemente posible).....	9
Figura 2. Ciclo de vida del proyecto.....	10
Figura 3. Tipos de contrato.	11
Figura 4. Descripción y pasos en gestión de riesgos.	18
Figura 5. Análisis y manejo del riesgo	23
Figura 6. Tendencia de los desplazamientos y alarma para toma de decisiones.....	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Riesgos identificados.	33
Tabla 2. Matriz de análisis cualitativo de riesgos	34
Tabla 3. Criterios de calificación probabilidad e impacto	36
Tabla 4. Matriz de análisis cuantitativo de riesgos	36
Tabla 5. Mapa de calor basado en la matriz de riesgo cuantitativo.....	38
Tabla 6. Enfoque basado en una matriz de riesgo	38
Tabla 7. Matriz implementación respuesta al riesgo	41

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PMI DE GESTIÓN DE RIESGOS EN EL CONTROL Y SEGUIMIENTO DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

Resumen

El análisis de riesgos en proyectos de infraestructura es esencial en el contexto global actual y en un mercado competitivo por la búsqueda y ampliación de espacios en zonas urbanas. Dada la complejidad de los proyectos, es crucial una gestión adecuada para garantizar el uso eficiente de los recursos y una planificación estratégica que considere tanto los proyectos específicos de las compañías constructoras. La falta de una gestión de riesgos adecuada aplicando una metodología validada es una de las principales causas de retrasos, sobrecostos e incluso accidentes por fallas que ponen en juicio la terminación de los proyectos. La propuesta de gestión de riesgos bajo el enfoque del PMI (Instituto de Gerencia de Proyectos de su sigla en inglés Projec Management Institute) busca proporcionar herramientas al contratista para enfrentar desafíos técnicos y mejorar su seguridad, cumplir con la calidad y terminar con éxito el proyecto. La primera parte del documento presenta el estado del arte de la gestión de riesgos, la segunda presenta la metodología, y la tercera parte presenta un caso de estudio, desde el punto de vista del constructor, con tendencia creciente como son las excavaciones urbanas, aplicando la metodología a la construcción de un sótano en la ciudad de Medellín, Antioquia. Se adopto este caso de estudio, porque durante la ejecución de este y otros proyectos similares se identificó la ausencia de un plan de gestión de riesgos por parte del contratista y esta memoria responde a una propuesta de implementación de gestión de riesgos siguiendo los lineamientos del PMI orientado al sector de la construcción desde una objetividad técnica. La excavación urbana plantea desafíos técnicos y riesgos significativos, como problemas de estabilidad geotécnica y estructural, amenazas a la seguridad de los trabajadores y posibles daños a infraestructuras vecinas. La evidencia empírica demuestra la falta de un enfoque técnico de gestión de riesgos que solo se limita, en muchos casos, a aspectos financieros con supuestos y nulos análisis de gestión durante construcción, sin contar un soporte mínimo razonable de control, seguimiento y estrategias de gestión previo a materializarse el potencial riesgo, por ende, se destaca la necesidad de una metodología basada en estándares de gerencia de proyectos aplicada al sector de la infraestructura. El objetivo que fue desarrollado, abordó los riesgos técnicos de manera razonable para soportar y aportar criterios de control y seguimiento para una ejecución exitosa del caso de estudio, minimizando impactos negativos, asegurando calidad y cumpliendo plazos dentro de la razonabilidad de los latentes retrasos a los que están expuestos los proyectos de infraestructura similares. La gestión proactiva dentro la ejecución fue esencial para el éxito

del proyecto e implementación de la metodología, afectando positivamente a trabajadores, la comunidad local, la empresa contratista, clientes, usuarios y el dueño del proyecto.

Palabras claves: PMI, gestión de riesgos, análisis de riesgos, infraestructura, excavación urbana, planificación estratégica, proceso constructivo.

INTRODUCCIÓN

Los proyectos en su etapa de construcción están expuestos a incertidumbres que se convierten en riesgos negativos o positivos, por lo tanto, lo más razonable es estar preparados para manejar estas incertidumbres del mejor modo posible si se materializan los riesgos negativos para evitar retrasos, pérdidas y sobrecostos. Por eso, es importante contar con un proceso estructurado para identificar, calificar y analizar los riesgos, cuya planificación temprana y/o oportuna ayude a responder y asegurar el éxito y la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura.

La implementación de la metodología de gestión de riesgos del Project Management Institute (PMI) facilita la identificación, evaluación de riesgos y ayuda a desarrollar estrategias de mitigación en todas las fases de un proyecto: diseño, construcción y operación. Este enfoque proporciona una valiosa oportunidad para alinear políticas, procedimientos y metodologías, generando beneficios para el proyecto tanto en clientes, contratistas y usuarios finales en el corto y largo plazo.

Este documento presenta la descripción de la metodología del PMI en fundamentos (PMI, 2017) y estándar de gestión de riesgos (PMI, 2019) como herramienta, y su aplicación en un caso de estudio, una excavación urbana, que presenta la apremiante necesidad de ejecutar un proyecto de construcción de manera exitosa, sin contratiempos en presupuesto y dentro de un plazo razonable según el cronograma del proyecto. La fase de construcción enfrenta desafíos técnicos y riesgos significativos, tales como: problemas geotécnicos, amenazas a la seguridad de los trabajadores, posibles daños a infraestructuras existentes y dificultades inherentes al diseño y la construcción. La ausencia de un enfoque técnico adecuado para la gestión de riesgos pone en peligro el éxito del proyecto, siendo vulnerable en términos técnicos y financieros si se materializan los riesgos y no se gestionan adecuadamente.

El interés en esta problemática surge de la falta de un plan de gestión de riesgos por parte del patrocinador y la complejidad intrínseca de la excavación de un sótano de grandes dimensiones, donde el constructor o contratista se juega su reputación y flujo de caja de empresa. El caso de estudio adoptado involucra consideraciones técnicas y de ingeniería significativas, así como riesgos importantes relacionados con la seguridad de los trabajadores, la integridad estructural de la infraestructura existente y la coordinación eficiente de diversas actividades de construcción.

La implementación de la metodología de gestión de riesgos en un proyecto de infraestructura se basa en el reconocimiento, de la magnitud a la que se pueden enfrentar obstáculos e imprevistos técnicos, como: condiciones de estudios, diseños, construcción, ambiental y social, redes, predial, operación, mantenimiento, jurídico, financiero, programación, entre otros. La dinámica de la gestión de riesgos es importante para cumplir los objetivos propuestos en cuanto su alcance, costos, tiempo y calidad del proyecto, minimizar impactos negativos, asegurar la calidad de la construcción y sus acabados, cumplir con las especificaciones de la ingeniería en los plazos establecidos.

El interés de este estudio nace a requerimiento de la empresa contratista de construcción, Oficina de Proyectos de Ingeniería S.A.S., las herramientas y estrategias necesarias para abordar estos desafíos de manera efectiva, asegurando la seguridad, calidad y éxito general del proyecto en la fase de construcción. Este problema se destacó durante la revisión de la estructuración del proyecto con el propietario, subrayando la necesidad de implementar un plan de gestión de riesgos para la construcción de un sótano de cuarto de máquinas en la ciudad de Medellín, Antioquia.

1 PROPÓSITO Y ORGANIZACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El planteamiento del problema se centra en la importancia de la gestión de riesgos en proyectos de construcción, específicamente en un caso de estudio de un sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia. Se realiza una lista de los múltiples riesgos asociados, como problemas geotécnicos, seguridad de los trabajadores, daños a infraestructuras existentes, dificultades de diseño y construcción. Se destaca la falta de un enfoque técnico adecuado de gestión de riesgos como una deficiencia crítica identificada por el contratista. Se indica la complejidad de excavar un sótano de dimensiones significativas, la importancia de la seguridad de los trabajadores y la integridad estructural de infraestructuras vecinas, la falta de un plan de gestión de riesgos por parte del patrocinador, que se ha centrado principalmente en los riesgos financieros, dejando a un lado los posibles riesgos de diseño y constructivos. Se subraya la necesidad de una metodología validada de gestión de riesgos, basada en estándares reconocidos, para identificar, evaluar los riesgos y oportunidades de manera efectiva, garantizando la calidad, seguridad y cumplimiento de los plazos del proyecto. La implementación de la metodología del PMI en gestión de riesgos se considera esencial para minimizar impactos negativos y asegurar la ejecución exitosa del proyecto.

1.2 Propósito de la investigación

El propósito de esta investigación es abordar la carencia de un enfoque técnico adecuado de gestión de riesgos en proyectos de construcción, específicamente en el caso de estudio del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia. Se busca desarrollar e implementar una metodología basada en las prácticas del PMI para la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura. Esta metodología tiene como objetivo mejorar el control y seguimiento de proyectos de infraestructura, asegurando la mitigación de riesgos y la optimización de recursos para cumplir con los objetivos de calidad, tiempo y costo.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología basada en las prácticas del PMI para la gestión de riesgos, con el fin de mejorar el control y seguimiento de proyectos de infraestructura, asegurando la mitigación de riesgos y la optimización de recursos.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Realizar una identificación de los riesgos potenciales que puedan afectar el desarrollo de proyectos de infraestructura.
2. Desarrollar un plan de gestión de riesgos basado en el estándar del PMI, en el caso de estudio asegurando la implementación según los procedimientos estandarizados.
3. Aplicar la propuesta detallada de gestión de riesgos que incluya procedimientos y herramientas específicas adaptadas a las necesidades de los proyectos de infraestructura de la organización, facilitando su implementación y seguimiento mediante un ejemplo práctico.

1.4 Justificación

Este estudio se fundamenta en la importancia de la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura, particularmente en el sector de la construcción, porque todo proyecto conlleva riesgos, por lo tanto, se debe de estar preparado para manejar estos riesgos, la falta de un enfoque técnico adecuado en la gestión de riesgos puede comprometer el éxito de los proyectos, promoviendo retrasos, sobrecostos e incluso la seguridad de los trabajadores y la integridad de las estructuras aledañas.

La aplicación de esta metodología basada en las prácticas del PMI permitirá ocuparse de manera efectiva de los riesgos asociados a proyectos de infraestructura, asegurando la identificación temprana de los mismos y la aplicación de medidas preventivas y correctivas. Así se contribuirá a su optimización de los recursos financieros, el cumplimiento del cronograma establecido y la calidad de los entregables.

1.5 Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca dentro de un enfoque de investigación mixto y forma parte de la línea de investigación del Politécnico Grancolombiano de diagnóstico organizacional orientado a evaluar la viabilidad y preparación de una organización para la implementación de metodologías en gerencia de proyectos. Este tipo de investigación se centra en analizar la situación actual de la organización en cuanto a sus prácticas y procesos de gestión de proyectos, identificando fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. El objetivo es proporcionar una base sólida para la implementación exitosa de metodologías en gerencia de proyectos, asegurando una adecuada alineación con los objetivos estratégicos y las capacidades internas de la organización como el caso de la gestión de riesgos.

1.6 Organización del estudio

El documento está organizado de la siguiente forma: la primera parte presenta el estado del arte de la gestión de riesgos, la segunda presenta la metodología y, la tercera parte presenta la aplicación de la metodología a un caso de estudio, desde el punto de vista del constructor.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico de la investigación

Los proyectos en su concepción son preparados y evaluados bajo ciertas hipótesis y supuestos, es decir, incertidumbres, asociados en general a proyectos de características similares tanto en cronograma y presupuesto, casi siempre el alcance es claro. Las estadísticas (Hoek, E., & Palmieri, A., 1998) demuestran que más del 90% de los proyectos no terminan en plazo y costo. Es durante la ejecución, la experiencia del contratista y las condiciones externas las que materializan o no los riesgos propios del proyecto. Entonces, la gestión de riesgos en los proyectos de infraestructura tiene muchos componentes donde las complejidades técnicas, económicas, sociales, financieras y ambientales aumentan la incertidumbre del costo del proyecto; un proyecto cierra su verdadero presupuesto y plazo cuando se termina, mientras tanto, es un proyecto activo y susceptible a riesgos durante construcción. En este trabajo los de planeación y operación, no forman parte dado el alcance objetivo de aplicar y valorar riesgos en un proyecto de infraestructura típico. El PMBOK del Project Management Institute (PMI, 2017) define la gestión de riesgos como el método sistemático para identificar, analizar y dar respuesta a los riesgos que podrían afectar un proyecto en cualquier tiempo durante su ejecución. Según Hillson (2009), gestionar los riesgos no solo implica hacer seguimiento, controlar ni mitigar amenazas, sino también capitalizar las oportunidades que ofrezca el proyecto. Esto es particularmente relevante en proyectos de infraestructura, donde los riesgos pueden impactar los costos, los tiempos y la calidad del producto final; y, las oportunidades adelantar tiempos, generar ahorros y mantener o mejorar la calidad de los materiales definidos. Es en este contexto que la metodología del PMI-RMP proporciona una guía para la gestión de riesgos en proyectos, permitiendo un enfoque estructurado y repetible a cualquier proyecto de similares características que incluye herramientas como el análisis cualitativo, cuantitativo y la planificación de respuestas, dispuestas en los marcos de análisis de riesgos de cualquier manual.

La ISO 31000:2018 y la NTC 5254 complementan el método del PMI al identificar un marco de referencia para la gestión de riesgos, aplicable a cualquier tipo de organización, en nuestro caso de estudio una empresa constructora. Este estándar promueve la incorporación de la gestión de riesgos en todos los planes de la organización, asegurando que las decisiones se toman con una conciencia clara de los riesgos involucrados. La ISO 31000 destaca la importancia de un proceso continuo de gestión de riesgos que incluye la identificación, evaluación, tratamiento, monitoreo y revisión de los riesgos. En proyectos de infraestructura, este método permite no solo gestionar los riesgos previsibles, sino también los emergentes, lo cual es esencial para mantener el control en proyectos de gran envergadura y larga duración, dado que a mayor exposición sin gestión mayor materialización de riesgos.

La gestión de riesgos en proyectos de ingeniería y construcción es una disciplina en constante evolución y su importancia se ha vuelto más evidente en la actualidad. La gestión de riesgos fuerza a pensar en el futuro, a preguntar en etapas tempranas que puede salir mal, donde hay situaciones que pueden afectar negativamente el proyecto.

La gestión de riesgos no es algo que se deba hacer cuando sobra tiempo o es exigido, debe hacerse consciente y habitual estar gestionando en todo el ciclo del proyecto con un enfoque diferenciado para cada etapa. Es de gran importancia gestionar los riesgos en todas las etapas del proyecto como son la planeación, construcción, operación, mantenimiento y todos sus componentes, para asegurar que el proyecto alcance los objetivos propuestos en cuanto a su alcance en costos, tiempo y calidad. A continuación, se presenta el triángulo de Pöttler & Schweiger (2006)

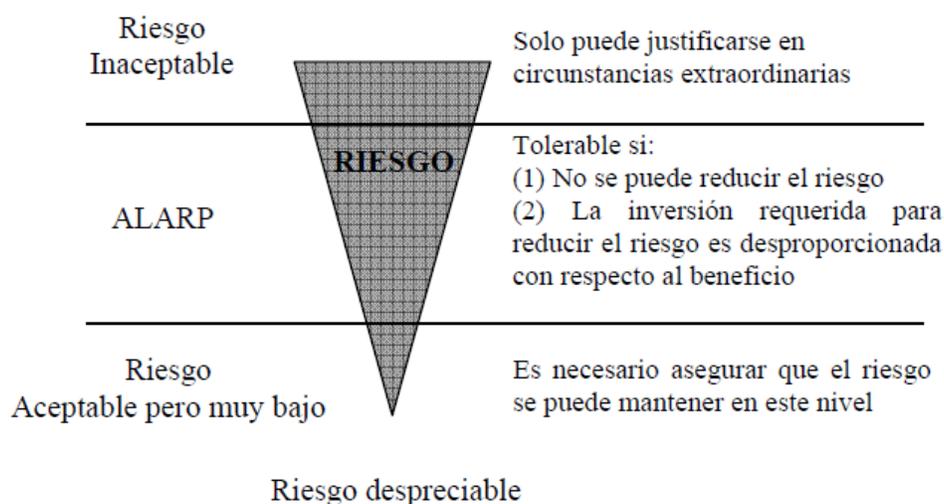


Figura 1. Riesgo ALARP: As Low As Reasonably Practicable (Tan bajo como sea razonablemente posible).

Fuente. Pöttler & Schweiger (2006)

Según la figura anterior, los riesgos siempre existen, no son nulos en ningún caso y su gestión se basa en hacerlos tan bajos como sean razonablemente factibles. Dicho de otra manera, por Sir Michael Latham el año 1994: “No existe un proyecto libre de riesgos los riesgos pueden ser gestionados, minimizados, compartidos, transferidos o aceptados, pero nunca ignorados.”

La gestión de riesgos en proyectos de infraestructura es un componente crítico para el desarrollo de las sociedades y asegurar su éxito en la ejecución de proteger los intereses de todos los beneficiarios junto a sus patrocinadores. A medida que los proyectos se transforman para no quedar limitados por su propósito inicial se vuelven más ambiciosos y técnicamente desafiantes, los riesgos asociados con factores como el uso de espacios, aspectos sociales, ambientales y otros incrementan la incertidumbre, y bajo la complejidad del entorno y las interdependencias entre variables aumentan significativamente (Smith et al., 2019, Mishra et al., 2022, Kwang et al., 2022) los desafíos como las soluciones. Basado en los lineamientos del PMI (PMI, 2013), un proyecto tiene las siguientes curvas de ciclo de proyecto y su evolución en función del tiempo.

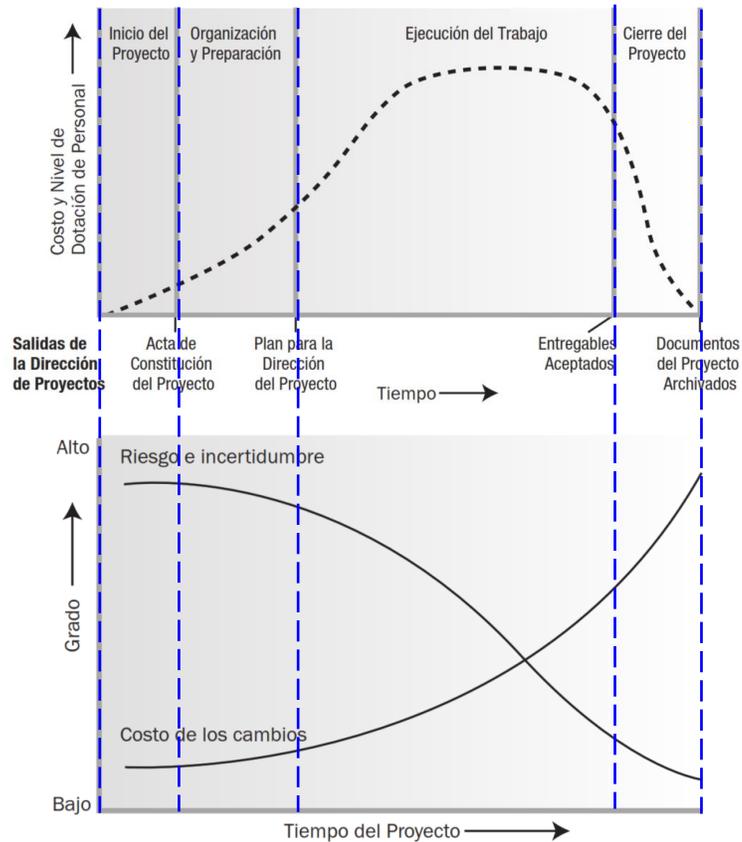


Figura 2. Ciclo de vida del proyecto.

Fuente: Guía del PMBOK (PMI, 2013)

Donde puede apreciarse como el riesgo al inicio del proyecto es máximo y a su cierre alcanza un riesgo aceptable muy bajo. Estas curvas pueden asociarse a temas técnicos y económicos respectivamente. Por otro lado, está la definición de quién es el riesgo, y de forma resumida indicamos que depende del tipo de contrato del proyecto de construcción como se presenta en la siguiente figura.



Figura 3. Tipos de contrato.

Fuente: 2° Seminario Internacional de Túneles y Aplicaciones ITS, "ITS Reflexiones sobre la planificación, diseño, contratación, construcción operación y mantenimiento de túneles en proyectos interurbanos y urbanos", Diego Sánchez Fonseca director Adjunto de la Vicepresidencia de Infraestructura de la CAF. Buenos Aires, 2010.

Aclarada las diferencias de responsabilidad del riesgo durante construcción según el tipo de contrato, parte del objeto de este documento es enfocar la metodología a la integridad del proyecto en cuestión desde el punto de vista del constructor sea el contrato que tenga firmado con la entidad contratante.

Según (Jones & Smith, 2019) la globalización hizo galopante introducir en todas las industrias de construcción la gestión de riesgos por sus bondades frente a los costos aportando herramientas para recibir los beneficios que en el mediano y largo plazo son tangibles. En el ámbito colombiano, la Norma Técnica Colombiana NTC 5254 establece un marco integral para la gestión de riesgos en proyectos. Esta norma define los lineamientos y principios que deben seguirse para identificar, analizar, evaluar y controlar los riesgos inherentes a proyectos en Colombia. Además, desempeña un papel fundamental al proporcionar lineamientos sólidos y estructurados para la gestión de riesgos en proyectos. Define los pasos y procesos que deben seguirse y adaptarse para identificar, analizar, evaluar y controlar los riesgos. Al adoptar esta norma, las organizaciones pueden asegurarse de que están siguiendo las mejores prácticas en la gestión de riesgos y están minimizando la posibilidad de problemas no previstos, si se utiliza con técnicos entendidos en el tipo de proyecto en cuestión, sin embargo, sus limitaciones son evidentes al no

profundizar en aplicación como el caso de los proyectos de infraestructura desde el punto de vista del constructor y ser generalista para uso en distintas áreas y proyectos que deben ser abordado por entendidos en la materia.

La gestión de riesgos en proyectos de infraestructura involucra diversas etapas (Smith et al., 2019, PMI, 2019, Shibani et al., 2022 y otros), planeación, construcción, operación y mantenimiento, todas estas en línea con el enfoque de identificación de riesgos donde se busca reconocer los riesgos potenciales que pueden afectar el proyecto en cada una de las etapas. Para lograr la identificación de riesgos, se evalúan las características del proyecto, el entorno en el que se desarrollará y los análisis que podrían generar incertidumbre. La evaluación y el análisis de los riesgos identificados, se analizan para determinar su probabilidad de que ocurran y el impacto que pueden tener sobre el proyecto. Esto facilita la asignación de prioridades de riesgos en función de su importancia y las consecuencias potenciales. El desarrollo de estrategias de respuesta, en esta etapa, se diseñan estrategias específicas para enfrentar los riesgos identificados. Las estrategias pueden ser preventivas, correctivas o de contingencia, con estas buscan reducir la probabilidad de aparición o reducir al mínimo los efectos de impacto de los riesgos. La implementación y monitoreo, se hace una vez establecidas las estrategias de respuesta, se ponen en práctica y se monitorean a lo largo de la ejecución del proyecto. El monitoreo es esencial para evaluar la eficiencia de las estrategias y realizar ajustes según sea necesario.

2.2 Marco teórico general

En particular, en el contexto de excavaciones desde el punto de vista del constructor, la gestión de riesgos cobra un papel crucial para garantizar la seguridad de los trabajadores, la calidad del proyecto y el cumplimiento de los plazos establecidos. Una metodología de gestión de riesgos sólida proporciona un enfoque estructurado y sistemático para abordar los riesgos inherentes a las excavaciones y asegurar un control y seguimiento efectivos (Jones & Smith, 2019).

La identificación de riesgos en excavaciones es el primer paso en la metodología. Implica el reconocimiento exhaustivo de los riesgos asociados a las excavaciones. Estos riesgos pueden incluir deslizamientos de tierra, colapsos del terreno, problemas geotécnicos y riesgos relacionados con la maquinaria pesada. La evaluación de la ubicación, el entorno y las características del suelo es esencial para identificar los riesgos potenciales (Serpell et al., 2015; PMI, 2019).

El análisis, reflexión, definición y evaluación de riesgos son necesarios para determinar la probabilidad de ocurrencia y el posible impacto en el proyecto del riesgo identificado, conocer una magnitud permite sensibilizar la exposición del riesgo. Con el análisis cualitativo y cuantitativo se priorizan los riesgos en función del apetito de riesgo con el que se quiere correr, con el fin de identificar y separar aquellos riesgos que generan amenaza para el proyecto. Esto permite que los equipos de proyecto se centren en los riesgos más importantes y demandantes. (C. Bauduin, A.A. Kirstein, 2022; PMI, 2019).

La etapa de implementación y monitoreo consiste en verificar y mantener un control efectivo durante toda la etapa de ejecución del proyecto. El monitoreo constante permite verificar si se realizaron las acciones de respuesta planeadas y realizar ajustes según sea necesario para mantener el control y la seguridad durante el proyecto (PMI, 2017; Otake & Honjo, 2022).

El desarrollo de estrategias de control, transferencia o mitigación es otro proceso vital una vez identificado el riesgo importante. Este proceso consiste en seleccionar estrategias, proponer y acordar acciones para afrontar los riesgos identificados según su valoración. El objetivo consiste en reducir la probabilidad que se produzca en el impacto de un riesgo.

En medianos y grandes proyectos de infraestructura como es en el caso de excavaciones profundas, se destaca la importancia de implementar la metodología de gestión de riesgos. Las excavaciones urbanas habilitan muchos riesgos, desde deslizamientos del terreno hasta problemas estructurales. Identificar, priorizar y abordar estos riesgos de manera oportuna es fundamental para velar por la seguridad de los trabajadores y la integridad del proyecto.

Algunos ejemplos de casos de éxito en Colombia y en América Latina donde la implementación de la gestión de riesgos PMI ha sido fundamental en proyectos de ingeniería y construcción (UPB, 2021), especialmente en el ámbito de excavaciones profundas, por mencionar algunas se tiene:

Ampliación de la Refinería de Cartagena, Túneles para el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) en Bogotá, Proyecto Hidroeléctrico Ituango, Proyecto Túnel de la Línea, Ampliación del Canal de Panamá, Túneles viales en São Paulo, Brasil. Estos son algunos ejemplos de los tantos proyectos de éxito que resaltan cómo una

adecuada gestión de riesgos ha sido determinante para alcanzar el éxito en proyectos de infraestructura.

Para cumplir con los objetivos descritos en párrafos anteriores, es relevante llevar a cabo los procedimientos y uso de herramientas específicas que permitan visualizar los riesgos, visualizar en el sentido práctico como un cuadro de mando integral. El análisis FODA y las entrevistas con expertos son metodologías sustanciosas que permiten captar tanto los riesgos internos como los externos con foco en el proyecto de construcción. Además, el uso de herramientas como la simulación e iteraciones de Monte Carlo permiten cuantificar los riesgos técnicos y económicos de forma más probabilística, que sirve en casos donde los conceptos de los especialistas y propios del equipo de construcción no convergen en las medidas. Estos métodos permiten una identificación exhaustiva de los riesgos, lo cual aporta con su probabilidad reducción de incertidumbres para anticiparse a posibles problemas que podrían comprometer los objetivos del proyecto.

3 DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La investigación propuesta se ubica en un enfoque mixto, ya que busca generar conocimientos que puedan ser aplicados directamente en la solución de un problema práctico de forma cualitativa y cuantitativa, específicamente en la implementación de la metodología PMI para la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura.

La importancia de implementar una metodología basada en las prácticas del PMI radica en la capacidad para asegurar el éxito de los proyectos de infraestructura. La meta de todo proyecto es alcanzar los objetivos propuestos en cuanto a su alcance, costo, tiempo y calidad y la falta de un enfoque técnico adecuado en la gestión de riesgos puede resultar afectada la parte financiera, la seguridad y la integridad del proyecto. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo proporcionar una base sólida para la implementación efectiva de la metodología PMI. Esto contribuirá a la optimización de recursos, la reducción de costos, la mejora en la calidad y el cumplimiento de los plazos establecidos en proyectos de infraestructura.

3.2 Población, muestra y ficha técnica

Población: La población de este estudio está constituida por todos los proyectos de infraestructura en la organización o en el ámbito de estudio que requieran la gestión de riesgos. En este caso, se incluye el caso específico del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia.

Muestra: La muestra estará conformada por una selección representativa de proyectos de infraestructura asociadas a excavaciones urbanas, incluyendo el caso específico del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia. Esta selección se realizará de manera que refleje la diversidad y complejidad de los proyectos gestionados por la organización, permitiendo generalizar los resultados obtenidos a la población completa de proyectos de infraestructura.

Ficha técnica: El caso de estudio es la construcción de un sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia, la cual contendrá información detallada sobre sus características específicas, los riesgos identificados, las acciones implementadas de gestión de riesgos, los resultados obtenidos y cualquier otro dato relacionado con el estudio.

3.3 Identificación y definición de variables

Variable independiente:

Implementación de la metodología PMI para la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura.

Variables dependientes:

La efectividad en la identificación de riesgos, medida por la capacidad de la metodología PMI para identificar de manera efectiva los riesgos potenciales en el proyecto. Además, se enfoca en la mitigación de riesgos, que se mide por la capacidad de la metodología PMI para reducir o eliminar los riesgos identificados en el proyecto. Busca optimización de recursos, medida por la eficiencia en el uso de los recursos (calidad, tiempo, costo) en la gestión de riesgos del proyecto y sin dejar a un lado el cumplimiento de objetivos, medida por la capacidad de la metodología PMI para asegurar el cumplimiento de los objetivos de tiempo, costo y calidad del proyecto.

Variables de control:

Características del proyecto: Tamaño, complejidad, ubicación, entre otros.

Experiencia y capacitación del equipo de gestión de riesgos: Nivel de experiencia y formación en la metodología PMI.

Cumplimiento de normativas y regulaciones: Adherencia a normas y regulaciones específicas en la gestión de riesgos de infraestructura.

Variables intervinientes:

Factores internos de la empresa (cultura organizacional, recursos disponibles, capacidad de adaptación).

3.4 Propuesta modelo teórico

Para la descripción de las herramientas utilizadas en el modelo teórico del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia, se analizaron diversas fuentes y metodologías reconocidas en el ámbito de la gestión de proyectos y la gestión de riesgos. Llegamos a la conclusión de que la metodología que más se ajustaba al caso de estudio y la más implementada en proyectos conocidos es la herramienta detallada a continuación:

- **Guía del PMBOK (PMI)**

- Se ha revisado la Sexta Edición de la Guía del PMBOK, centrándose en las prácticas y estándares para la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura.
- Identificación de los cinco grupos de procesos (iniciación, planificación, ejecución, monitoreo y control, cierre) y cómo se aplican en la gestión de riesgos.

- **Estándar para la gestión de riesgos del PMI**

- Se realizó un análisis detallado del estándar para la gestión de riesgos en portafolios, programas y proyectos.
- Enfoque en la identificación, evaluación y mitigación de riesgos, así como en la importancia de la comunicación y documentación de los mismos.

El estudio de este método, validado empíricamente, ofrece un enfoque completo y sólido para la gestión de riesgos en el proyecto de estudio que es la construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia. Permitiendo identificar, evaluar y mitigar los riesgos de manera efectiva, garantizando la seguridad, calidad y plazos de ejecución del proyecto.

3.4.1 Guía de fundamentos de dirección de proyectos y Estándar para la gestión de riesgos del PMI

La Gestión de Riesgos del Proyecto, según la guía del PMBOK 6th Ed del PMI, y su Estándar de Riesgos, abarca procesos para planificar, identificar, analizar, planificar respuestas, implementar respuestas y monitorear los riesgos. Su objetivo es aumentar la probabilidad y/o impacto de riesgos positivos y disminuir la probabilidad y/o impacto de riesgos negativos para optimizar el éxito del proyecto.

La siguiente figura muestra una descripción general de los procesos de gestión de riesgos del proyecto. Aunque estos procesos se presentan como diferenciados con interfaces definidas, en la práctica se superponen e interactúan entre sí (PMI, 2017).



Figura 4. Descripción y pasos en gestión de riesgos.

Fuente: PMI, 2017

De manera aplicada, estos procesos incluyen:

1. Planificar la gestión de riesgos: Es el proceso de decidir cómo abordar y realizar las actividades de gestión de riesgos del proyecto. También se le conoce como identificar el contexto del proyecto, incluyendo las reglas de la empresa o del cliente. Es importante identificar el alcance, las actividades que se van a realizar, las metodologías y herramientas

que se emplearan, establecer quien realizara las tareas y responsabilidades relacionadas con la gestión de riesgos del proyecto.

Al planificar la gestión de riesgos, obtenemos una idea de cómo podemos aplicar la teoría de la gestión de riesgos. Las entradas, herramientas y salidas que encontramos en esta etapa las podemos visualizar en a la figura 4.

2. Identificar los riesgos: El objetivo de este proceso es documentar los riesgos individuales y fuentes de riesgo del proyecto, identificar los riesgos consiste en determinar cuáles son los riesgos que podrían afectar positiva o negativamente la finalidad del proyecto. La Identificación de los riesgos consiste en listarlos y documentar sus características. Esta actividad se lleva a cabo en las diferentes etapas del proyecto, porque sus características pueden cambiar con el tiempo.

Las entradas, herramientas y salidas que encontramos en esta etapa la podemos ver en la figura 4. Los pasos sugeridos para adelantar este proceso son por medio de talleres de identificación de riesgos, diligenciar la matriz de riesgos y comunicar los resultados del proceso.

3. Realizar el análisis cualitativo de riesgos: Mediante este procedimiento se priorizan los riesgos individuales del proyecto para identificar y analizar aquellos riesgos que presentan una mayor amenaza para el proyecto. Evalúa la probabilidad de ocurrencia e impacto de estos riesgos, así como otras características relevantes. El beneficio clave de este proceso es que concentra los esfuerzos en los riesgos de alta prioridad. Este proceso se realiza de manera continua durante el ciclo de vida del proyecto, según lo definido en el plan de gestión de riesgos. En entornos de desarrollo ágil, se realiza antes del comienzo de cada iteración.

Las Entradas son el plan para la dirección del proyecto, documentos del proyecto (registro de supuestos, riesgos e interesados) y factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización.

Herramientas y técnicas: juicio de expertos, recopilación de datos (entrevistas), análisis de datos (evaluación de la calidad de los datos sobre riesgos, evaluación de probabilidad e impacto de los riesgos, evaluación de otros parámetros de riesgo), habilidades interpersonales y de equipo (facilitación), categorización de riesgos, representación de datos (matriz de probabilidad e impacto, diagramas jerárquicos), reuniones.

Salidas: actualizaciones a los documentos del proyecto (registro de supuestos, incidentes, riesgos e informe de riesgos)

4. Realizar el análisis cuantitativo de riesgos: Es el proceso de analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto. El beneficio clave de este proceso es cuantificar la exposición al riesgo del proyecto en general, proporcionando información cuantitativa adicional para apoyar la planificación de la respuesta a los riesgos.

Este proceso no es necesario para cada proyecto y se realiza principalmente en proyectos grandes, complejos, estratégicamente importantes, o donde se requiere contractual o por interesados clave. Se lleva a cabo a lo largo de todo el proyecto.

La efectividad del análisis depende de la disponibilidad de datos precisos sobre los riesgos y una sólida línea base del proyecto en cuanto a alcance, cronograma y costos.

Entradas: plan para la dirección del proyecto (plan de gestión de los riesgos, línea base del alcance, del cronograma y base de costos), documentos del proyecto (registro de supuestos, base de las estimaciones, estimaciones de costos, pronósticos de costos, estimaciones de la duración, lista de hitos, requisitos de recursos, registro de riesgos, informe de riesgos, pronósticos del cronograma), factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización.

Herramientas y técnicas: juicio de expertos, recopilación de datos (entrevistas), habilidades interpersonales y de equipo (facilitación), representaciones de la incertidumbre, análisis de datos (simulaciones, análisis de sensibilidad, análisis mediante árbol de decisiones, diagramas de influencias).

Salidas: actualizaciones a los documentos del proyecto (informe de riesgos).

5. Planificar la respuesta a los riesgos: Este proceso consiste en seleccionar estrategias, elaborar opciones y acordar medidas de preparación para afrontar el riesgo.

Luego de haber identificado los riesgos y saber cómo manejarlos, vamos a planificar la respuesta a los riesgos en caso de que se materialicen. Este proceso consiste en llevar acciones planeadas para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas al objetivo del proyecto. Los riesgos se abordan según su prioridad, comenzando con los más importantes. Se asignan recursos en el presupuesto, cronograma y plan de gestión del proyecto según sea necesario para cada uno de los riesgos.

Las actividades en esta etapa incluyen el desarrollo de la estrategia de respuesta a los riesgos, la identificación del propietario del riesgo, el desarrollo e implementación del plan de estrategias de riesgos, la evaluación y valoración de la estrategia y planes de respuesta, la implementación de planes de contingencia para los riesgos aceptados, la determinación de riesgos residuales de muy baja prioridad y la determinación de la reserva de riesgos del proyecto (en términos económicos y de tiempo) para controlarlos mejor y minimizar su impacto en el proyecto.

Como entrada se tiene el plan de gestión de los riesgos, registro de riesgos.

Herramientas y técnica: estrategias para riesgos negativos o amenazas, estrategias para riesgos positivos u oportunidades, estrategias de respuestas a contingencias, juicio de expertos.

Salidas: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, y documentos.

6. Implementar la respuesta a los riesgos: es el punto donde se realiza las acciones de respuesta planeadas. Lo ideal es realizar las acciones de respuesta a los riesgos que se ejecuten según lo planificado, con el fin de minimizar las amenazas y maximizar las oportunidades para el proyecto. Un problema común en la gestión de riesgos es que, después de identificar, analizar y planificar respuestas a los riesgos, no se toman medidas efectivas para gestionarlos.

La implementación de la respuesta al riesgo es un proceso se realiza durante todo el ciclo de vida del proyecto, documentar las acciones de respuesta realizadas y comunicar los resultados de procesos son los pasos para la aplicación de una respuesta ante los riesgos.

7. Monitorear los riesgos: El propósito del monitoreo es hacer seguimiento a los riesgos identificados y evaluar la efectividad de los procesos, hacer seguimiento a los riesgos significa identificar y analizar nuevos riesgos, evaluar la efectividad del proceso de gestión de riesgos durante todo el proyecto y si se logró el objetivo propuesto.

El trabajo del proyecto debe ser monitoreado constantemente para identificar riesgos nuevos, cambiantes, y obsoletos, y cambios en el nivel de riesgo general. La evaluación del desempeño, utiliza la información generada durante la ejecución del proyecto para determinar:

- Efectividad de las respuestas a los riesgos implementadas.

- Cambios en el nivel de riesgo general del proyecto.
- Cambios en el estado de los riesgos individuales del proyecto.
- Aparición de nuevos riesgos individuales del proyecto.
- Adecuación del enfoque de gestión de riesgos.
- Validez de los supuestos del proyecto.
- Cumplir de las políticas y procedimientos de gestión de riesgos.
- Necesidad de modificar de las reservas para contingencias financieras o cronograma.
- Validez continua de la estrategia del proyecto.

Monitorear los riesgos asegura que el equipo del proyecto y los interesados estén al tanto del nivel actual de exposición al riesgo, permitiendo ajustes proactivos y bien informados a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La gestión de riesgos del proyecto busca identificar y gestionar riesgos que no estén contemplados en otros procesos del proyecto. Se abordan riesgos individuales y el riesgo general del proyecto, que surge de la combinación de riesgos individuales y otras fuentes de incertidumbre. La gestión de riesgos busca explotar o mejorar riesgos positivos (oportunidades) y evitar o mitigar riesgos negativos (amenazas).

También se destaca la importancia de la capacidad de recuperación del proyecto para hacer frente a riesgos emergentes, aquellos que solo pueden ser reconocidos después de que hayan ocurrido. Se sugiere tener un nivel adecuado de contingencia en el presupuesto y cronograma, procesos flexibles, un equipo empoderado, alertas tempranas y una clara comunicación con los interesados.

Se resalta la importancia de la gestión integrada de riesgos, considerando que los proyectos forman parte de un contexto organizacional más amplio. Si se quiere tener éxito o aumentar la posibilidad de terminar satisfactoriamente un proyecto, se deben gestionar los riesgos, independientemente si el proyecto es complejo o simple, cuanto más complejo o grande es el proyecto más tiempo requiere y el tiempo cuesta, los beneficios de gestionar los riesgos, exceden en gran manera en el tiempo invertido y optimización de los recursos invertidos.

3.5 Descripción del instrumento de medición

El instrumento de medición propuesto incluirá la implementación de la metodología PMI en la gestión de riesgos para proyectos de infraestructura, con el objetivo de mejorar el control y seguimiento de dichos proyectos, garantizando la mitigación de riesgos y la optimización de recursos, cumpliendo así con los objetivos de tiempo, costo y calidad.

Matemáticamente el riesgo es igual a la probabilidad por su impacto, cuyos valores definen un riesgo inicial y según su magnitud se clasifica, con el objeto de aplicar medidas para convertirlos en riesgo residual dentro de la magnitud aceptable.

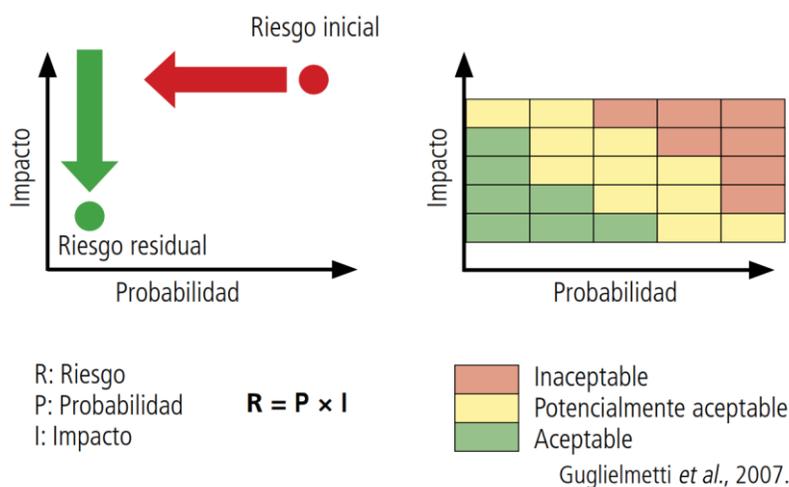


Figura 5. Análisis y manejo del riesgo

La primera parte del instrumento evalúa el plan de gestión de riesgos, verificando la existencia y calidad del plan, la cobertura de riesgos y su integración con otros planes. Esto se realiza mediante la revisión documental y entrevistas con el equipo del proyecto.

La segunda parte, analiza, reflexiona e identifica los posibles riesgos del proyecto de forma genérica. Se realiza después de conocer el contexto del proyecto y de efectuar la planeación de ejecución; usualmente, se emplean checklist, se realizan reuniones y entrevistas a los asesores, especialistas e integrantes del equipo del proyecto y con la información obtenida se procede a organizar la información en una matriz de riesgos y se comunican los resultados de este proceso a todos los interesados.

En la tercera parte, inicia el análisis cualitativo de riesgos. Este proceso desarrolla un listado de riesgos con sus causas y efectos, esto es determinante dado que en este punto según las causas-efectos empieza a vislumbrarse la exposición y apetito al riesgo de los interesados. Se organiza un mapa de calor que es una herramienta de representación gráfica y se visualiza la probabilidad e impacto en una matriz.

La cuarta parte del proceso, es realizar el análisis cuantitativo de riesgos, valorando acorde a la sensibilidad de cada interesado que tan probable es que un riesgo o causa ocurra y cual podría ser su impacto en el alcance, costo y tiempo. La metodología de recolección incluye definir el evento a analizar, establecer el proceso constructivo y en el espacio de tiempo en se realizará el análisis, se identifican los elementos asociados a la probabilidad del riesgo, se realizan reuniones, entrevistas o encuestas, y se establece una probabilidad de ocurrencia y se justifica la ponderación de la calificación según la evidencia empírica.

En la quinta parte, se planifican las respuestas a los riesgos, respuestas consensuadas y sensibilizadas con el equipo de trabajo. Se mide el desarrollo y calidad de los planes de respuesta a los riesgos o planes de emergencia, evaluando la existencia y adecuación de las estrategias de respuesta, los recursos asignados y el impacto previsto en el cronograma y presupuesto, sea este un riesgo positivo o negativo. Los métodos de recolección incluyen la revisión de planes de respuesta a los riesgos y entrevistas con el equipo del proyecto y propietarios de riesgos.

La sexta parte, implementa el plan de emergencia con las respuestas y acciones de atención a los riesgos materializados. Los pasos para implementar las acciones de respuesta es documentar las acciones realizadas, los costos asociados, soportes y comunicar los resultados del proceso.

En la última parte se monitorean los riesgos. Se mide la supervisión continua y ajustes en la gestión de riesgos, la actualización regular del registro de riesgos, la identificación de nuevos riesgos y la efectividad del proceso de monitoreo. Los métodos de recolección incluyen la revisión de informes de monitoreo de riesgos, entrevistas con el equipo de gestión de riesgos y auditorías.

La adopción y ejecución de la metodología PMI permite una mejor identificación y gestión de los riesgos en proyectos de infraestructura, aumentando la probabilidad de éxito del proyecto, mejorando la predicción de los resultados, minimizando cambios, retrasos y sobrecostos ante riesgos probables de alto impacto, contribuye a una mejor calidad de vida del personal de trabajo y proyecto, reduciendo el caos que se vive en los proyectos de infraestructura sin planes de gestión de riesgos.

3.6 Validación del instrumento de medición

La validación del instrumento de medición será a partir de la matriz de resultados que presenta el estado del arte en materia de gestión de riesgos como es el caso del PMI, que han sido validadas en aplicación del contexto de la ingeniería de diseño y construcción respectivamente. Con la referenciación de metodologías en casos de estudio sugeridos en la aplicación del caso de estudio de este documento se asegura que las metodologías y herramientas propuestas sean efectivas y adecuadas para la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura.

Este estudio proporcionará una base sólida para verificar la pertinencia y efectividad de la metodología propuesta para el proyecto de infraestructura para el sótano de cuarto de máquinas en Medellín.

La validación continuará con la consulta y retroalimentación de profesionales y partes interesadas claves involucradas en el proyecto de estudio. Durante las actividades desarrolladas, se solicitó opinión sobre la viabilidad y utilidad del instrumento propuesto, asegurando que todas las perspectivas sean consideradas antes de su implementación final.

3.7 Técnica de recolección de datos

La técnica de recolección de datos incluyó revisión documental, consultas a expertos, observación directa del proceso de excavación y análisis de registros y reportes de gestión de riesgos a partir de lecturas de instrumentación geotécnica del caso de estudio.

3.8 Formulación de hipótesis

La implementación de una metodología de gestión de riesgos basada en las prácticas del PMI mejora considerablemente el control y seguimiento de los proyectos de infraestructura, logrando así la mitigación efectiva de riesgos y la optimización de recursos para cumplir con los objetivos de tiempo, costo y calidad.

La hipótesis formulada sostiene que esta implementación tendrá un impacto significativo en la eficiencia y efectividad del control y seguimiento del caso de estudio que es el proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia.

3.9 Plan de trabajo o cronograma de la investigación (EDT)

El plan de trabajo se desplegará a lo largo de las distintas etapas del proyecto de excavación, estableciendo hitos específicos para la identificación, evaluación y mitigación de riesgos, así como para el seguimiento y ajuste de las estrategias de respuesta. El cronograma se realizará considerando las fechas cruciales del proyecto y la secuencia lógica de las actividades.

4 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Descripción de las herramientas utilizadas para el procesamiento de datos

Para el caso de estudio, el proyecto de excavación para la construcción del sótano de cuarto de máquinas, la gestión documental y el manejo de la información fue un componente fundamental para avalar la claridad y confiabilidad de la documentación recolectada. Para lo cual, se emplearon diferentes herramientas como análisis estadístico que permitieron realizar análisis detallados, identificar tendencias y patrones de los datos geotécnicos y posibles riesgos en el proyecto basados en otros proyectos similares. También, se usaron modelos de simulación, como el de Montecarlo, para prever escenarios y evaluar la probabilidad de diferentes eventos de riesgo, facilitando el desarrollo de estrategias de mitigación efectivas durante las sesiones de lluvia de ideas, obtenidas de otros proyectos similares en cuanto a los posibles riesgos utilizadas en la identificación. Estas herramientas estadísticamente aseguraron que las decisiones fueran basadas en información sólida y confiable por ser evidencia empírica.

Se utilizaron software como Microsoft Project y Excel que permitió una planificación, control del cronograma y los recursos del proyecto, integrando módulos específicos para la gestión de riesgos. Estas herramientas en conjunto proporcionaron un marco para la toma de decisiones claras y efectivas, asegurando el éxito del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia.

4.2 Validación de la confiabilidad de los datos recolectados

Como gestores de riesgos del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia, llevamos a cabo un riguroso proceso de validación de la confiabilidad de los datos recolectados, siguiendo las directrices establecidas por el PMI. En primer lugar, se aseguró de que las fuentes de datos fueran confiables y relevantes. Para ello, revisó la credibilidad de las fuentes, incluyendo estudios geotécnicos de laboratorios acreditados y bases de datos de proyectos anteriores, se realizó auditorías internas para

evaluar la consistencia y precisión de la información recopilada. Estas acciones permitieron establecer una base sólida de datos verificados, esencial para la toma de decisiones informadas.

En segundo lugar, implementó técnicas de análisis de calidad de datos, tal como recomienda el PMI. Estas técnicas incluyeron pruebas de consistencia y evaluaciones de exactitud para identificar y corregir cualquier anomalía en los datos recolectados. Además, se utilizó la triangulación de datos, comparando la información obtenida en el campo con estudios previos y datos de proyectos similares, consultamos con expertos externos en geotecnia y gestión de riesgos para validar la precisión de la información. Este enfoque multidimensional garantizó que los datos fueran revisados y confirmados desde diversas perspectivas, aumentando así su confiabilidad.

Adicional a esto se utilizó herramientas analíticas avanzadas, como simulaciones de Montecarlo y modelos predictivos, para prever posibles escenarios y validar los datos bajo diferentes condiciones, enfocado a los posibles riesgos geotécnicos a los que está expuesta la excavación. Toda la información recolectada y los procesos de validación fueron exhaustivamente documentados, facilitando la trazabilidad y revisiones futuras. Además, se estableció un calendario de revisiones periódicas para actualizar continuamente los datos recolectados, integrando cualquier cambio o nueva información de manera efectiva, como es el modelo geológico ajustado según el avance de la excavación. De esta manera, el gestor de riesgos aseguró que la validación de los datos fuera un proceso continuo y dinámico, fundamental para una gestión de riesgos efectiva y el éxito del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia.

4.3 Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos en la gestión de riesgos del proyecto en estudio, utilizamos una variedad de herramientas que nos permitieron recopilar, analizar y gestionar la información de manera eficaz. Se revisó la documentación y los insumos, se usaron diferentes técnicas y herramientas para recopilar datos e información. A continuación, se describen estas técnicas y herramientas que se emplearon:

1. Lluvia de ideas, mapas mentales y análisis FODA.
2. Consultas a expertos.
3. Revisión de documentos del proyecto y lecciones aprendidas.
4. Plantillas y matriz de probabilidad e impacto (Excel)
5. Software de gestión de proyectos (MS Project)

6. Análisis de Montecarlo (Crystal Ball)

Para proyectos de infraestructura con un alcance similar, la implementación de herramientas como lluvia de ideas, mapas mentales y análisis FODA (o DAFO) será esencial en las fases iniciales de la identificación de riesgos. Estas técnicas facilitarán la participación activa de los miembros del equipo y partes interesadas clave, permitiendo capturar una amplia gama de riesgos desde diversas perspectivas, es decir, distintas categorías según las disciplinas de los asistentes. Los mapas mentales ayudarán a visualizar las relaciones entre los riesgos, mientras que el análisis FODA permitirá identificar no solo amenazas, sino también oportunidades que puedan surgir durante el proyecto.

La consulta a expertos, la revisión de documentos del proyecto y lecciones aprendidas servirán como métodos fundamentales para validar los riesgos identificados y descubrir otros riesgos potenciales que no sean evidentes. Los expertos aportarán su conocimiento especializado en áreas técnicas o contextos específicos, mientras que la revisión de proyectos anteriores permitirá aprovechar experiencias pasadas, evitando repetir errores y mejorando la planificación. La incorporación de plantillas y matrices de probabilidad e impacto en Excel permitirá realizar un análisis cualitativo eficiente, ayudando a priorizar los riesgos basados en su probabilidad de que ocurran y su impacto en el proyecto.

Finalmente, el uso de software de gestión de proyectos como MS Project facilitará la planificación, seguimiento y control del proyecto, integrando la gestión de riesgos dentro del cronograma general. El análisis de Montecarlo, utilizando herramientas como Crystal Ball, Risk, permitirá realizar un análisis cuantitativo detallado de los riesgos clave, si se consideran necesarios. Esto proporcionará una simulación de escenarios posibles, ayudando a estimar con mayor razonabilidad el impacto financiero y temporal de los riesgos. Estos enfoques combinados asegurarán una gestión de riesgos robusta y adaptable, adecuada para proyectos de infraestructura de mediana a gran envergadura y complejidad.

Estas técnicas y herramientas fueron fundamentales para obtener e identificar los riesgos, para procesar los datos de manera eficaz asegurando una gestión de riesgos integral y proactiva en el ciclo de vida del proyecto.

4.3.1 Planificar la gestión de riesgos

Como gestores de riesgos del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia, el equipo de ingeniería llevó a cabo una planificación meticulosa y exhaustiva para asegurar la identificación, evaluación y mitigación de los riesgos asociados al proyecto. A continuación, se describe cómo se desarrolló este proceso:

1. Identificación de riesgos

El equipo de ingeniería comenzó reuniendo a un equipo multidisciplinario de todas las áreas involucradas en el proyecto obteniendo así un grupo expertos en ingeniería civil, geotecnia, estructurales, medio ambiente y seguridad, etc. Juntos, realizaron talleres de identificación de riesgos, donde se revisaron los documentos del proyecto como contratos y proveedores, también se llevaron a cabo sesiones de lluvia de ideas para identificar posibles riesgos. Se realizó un análisis de checklists de riesgos de proyectos anteriores aprovechando las experiencias y lecciones aprendidas para identificar riesgos recurrentes en excavaciones urbanas. Además, se utilizaron herramientas como el análisis FODA para considerar factores de fortaleza, oportunidad, debilidad, amenaza para identificar riesgos negativos y positivos, internos y externos que pudieran impactar el proyecto.

2. Evaluación y clasificación de riesgos

Una vez identificados los riesgos, el equipo de ingeniería lideró un diagrama de afinidad para ordenar y agrupar según su categoría de riesgo para diligenciar la matriz de riesgos mediante el programa Excel. Cada uno de los riesgos fueron evaluados en condiciones de probabilidad de ocurrencia y posible impacto en el proyecto, considerando aspectos como costos, tiempo, calidad y seguridad. El resultado final del análisis cualitativo es actualizar el registro del riesgo, se obtiene la probabilidad y el impacto de cada riesgo, se clasifican según su nivel.

3. Desarrollo de estrategias de respuesta

Para cada riesgo identificado, el equipo de ingeniería y su equipo desarrollaron estrategias de respuesta adecuadas, categorizadas en cuatro tipos: evitación, transferencia, mitigación y aceptación. Se elaboraron planes de contingencia específicos para los riesgos más críticos, asegurando que el equipo del proyecto estuviera preparado para actuar de manera efectiva si estos riesgos se materializaban.

4. Análisis cuantitativo de riesgos

El equipo de ingeniería realizó un análisis cuantitativo de riesgos utilizando el software Crystal Ball para ejecutar simulaciones de Montecarlo. Este análisis permitió evaluar el impacto financiero y temporal de los riesgos más significativos, proporcionando

una visión más precisa de las posibles variaciones en el presupuesto y el cronograma del proyecto. En la aplicación directa se plasma en la plantilla Excel asignando una puntuación asociada al tipo y nivel de riesgo.

5. Monitoreo y control de riesgos

Para garantizar una supervisión y control continuo de los riesgos, se implementó una plantilla Excel, donde se encuentran la respuesta, el nivel y la estrategia a abordar. Este sistema permitió documentar y monitorear los riesgos de manera sistemática, facilitando la generación de informes y gráficos que mejoraron la comunicación con todas las partes interesadas del proyecto.

6. Revisión y actualización de la planificación

A lo largo del ciclo de vida del proyecto, el equipo de ingeniería llevó a cabo revisiones periódicas de la planificación de riesgos. Se organizaron reuniones regulares con el equipo del proyecto para revisar la efectividad de las estrategias de mitigación y actualizar la matriz de riesgos según fuera necesario. Esta dinámica de revisión continua permitió ajustar las estrategias de respuesta de manera proactiva.

7. Capacitación y sensibilización

El equipo de ingenieros también se aseguró de que todo el personal implicado en el proyecto participara de la capacitación en la gestión de riesgos. Se realizaron talleres y sesiones de formación para familiarizar a todos sobre la importancia de la gestión de riesgos y su papel en la minimización de impactos negativos en el proyecto.

Con las capacitaciones, el equipo de ingeniería logró planificar de manera efectiva la gestión de riesgos del proyecto de construcción del sótano de cuarto de máquinas en Medellín, Antioquia, asegurando que se adoptaran medidas proactivas para identificar, evaluar y mitigar los riesgos, contribuyendo al éxito y sostenibilidad del proyecto.

4.3.2 Identificar los riesgos

La identificación de los riesgos es un paso fundamental en la gestión de los riesgos de proyectos, es la identificación y la documentación de los riesgos, especialmente en proyectos de excavación como el que estamos abordando. La identificación de riesgos, es iterativa, se realiza un gran esfuerzo en identificarlos en la planificación, pero en cualquier momento durante la vida útil del proyecto podrán surgir nuevos riesgos, eliminarse otros o cambiar su prioridad.

Para el caso de estudio junto a la mesa de expertos y asistentes del equipo del contratista se categorizaron los siguientes títulos en una lluvia de ideas

Riesgos de diseño

- Método de diseño limitado
- Modelos de comportamiento inadecuados
- Secuencia de construcción equivocada

Riesgos geológicos-geotécnicos

- Investigación limitada y/o deficiente
- Parámetros de diseño muy variables
- Situaciones geológicas/geotécnicas inciertas, inesperadas
- Ocurrencia de terremotos, inundaciones

Riesgos de construcción

- Gerenciamiento del proyecto deficiente
- Contrato sin definición de responsabilidad de riesgos claros
- Provisión de equipo y materiales, reparación y mantenimiento
- Rendimiento de construcción bajos

Riesgos financieros, políticos

- Inflación, incremento de la mano de obra
- Problemas sociales, huelgas y paros

Esta lluvia de ideas es dinámica y acorde al tiempo de levantamiento de datos, en otra etapa del proyecto, unas estarán más definidas y otras más residuales a nulas, por tanto, dependen del momento en que se analice y valore la sensibilidad y apetito al riesgo del equipo de trabajo; definiendo para nuestro alcance la implementación del trabajo académico asociado a los riesgos técnicos que es presentado en los siguientes puntos.

Con el proyecto a puertas y durante la instalación de faenas, el departamento de ingeniería, procedió a identificar los riesgos, se utilizaron nuevamente herramientas como la lluvia de ideas, consultas a expertos, revisión de documentos del proyecto y lecciones aprendidas, ya más acentuadas y valoradas de la lluvia anterior y con nuevos elementos como estar en el sitio de proyecto, con las cuales completo la tabla de identificación de riesgos. En esta instancia, se han detallado un total de 25 riesgos con alto potencial de materialización que pueden afectar el desarrollo en cuanto al avance y seguridad de la

excavación del sótano. Estos riesgos abarcan distintas temáticas, desde aspectos logísticos, de personal, geotécnicos, manejo de agua, ambientales, problemas de seguridad entre otros. Es relevante declarar que la calidad y la profundidad con la que se identificaron estos riesgos, son determinantes en la calidad del posterior análisis de riesgos y de los planes de emergencia y respuesta para prepararnos ante los inminentes riesgos, algunos de estos riesgos, como la presencia de rocas en el subsuelo, la estabilidad de las caras de la excavación, asentamientos en las vías y la congestión del tráfico, son especialmente relevantes debido a su posible impacto significativo en el proyecto. Con la identificación y análisis detallado de estos riesgos, al menos los evidentes se puede indicar que el equipo se encuentra preparado para responder efectivamente y desarrollar la gestión de riesgos adecuadamente y minimizar su impacto en el desarrollo del proyecto.

A continuación, se presenta el listado por categoría de los riesgos detectados para el proyecto:

Geotécnicos	Ambientales	Seguridad	Logísticos
Presencia de rocas en el subsuelo.	Contaminación del suelo o del agua subterránea.	Accidentes laborales debido a condiciones inseguras de trabajo.	Congestión del tráfico en las vías cercanas al sitio de trabajo.
Estabilidad de las paredes de excavación.	Daños a infraestructuras existentes cercanas al sitio de trabajo.	Interrupción de servicios públicos como agua, electricidad o comunicaciones.	Dificultades para la disposición adecuada de los materiales excavados.
Deslizamientos de tierra durante la excavación.	Exposición a sustancias peligrosas durante la excavación.	Falta de capacitación del personal en temas de seguridad y gestión de riesgos.	Falta de coordinación entre los diferentes equipos de trabajo.
Inestabilidad del terreno debido a condiciones geotécnicas complejas.	Incumplimiento de normativas ambientales y de seguridad.	Robo o vandalismo en el sitio de trabajo.	Problemas de comunicación entre los distintos actores del proyecto.
		Conflictos laborales o problemas de relaciones laborales.	Incumplimiento de los plazos establecidos debido a retrasos en la excavación.
			Pérdida de productividad debido a condiciones climáticas adversas.
			Problemas de acceso al sitio de trabajo debido a condiciones climáticas o geográficas.
			Pérdida de documentos o información importante para el proyecto.
			Problemas de coordinación con proveedores y subcontratistas.
			Falta de recursos financieros para hacer frente a imprevistos.
			Cambios en la normativa legal que afecten al proyecto.
			Falta de control en el cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos.

Tabla 1. Riesgos identificados.

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Realizar el análisis cualitativo de riesgos

El análisis cualitativo implica analizar los riesgos y evaluar la probabilidad que estos ocurran, se evalúa también el impacto si ocurren. En nuestro caso de estudio se determinó que los riesgos geotécnicos y de seguridad tenían el mayor impacto en el proyecto, lo que resalta la importancia de implementar medidas preventivas y de

contingencia para mitigar estos riesgos. También se identificó que los riesgos logísticos, aunque son menos significativos, también requerían atención para garantizar el éxito del proyecto.

Lo primero que se hizo para analizar los riesgos cualitativamente fue tomar la lista de los 25 riesgos que identificamos, fue importante y preponderante concentrarnos en los riesgos prioritarios dado que estos tienen un equilibrio entre el costo y el beneficio de realizar el análisis otorgando la viabilidad o no del cierre del proyecto, en base a este análisis, se diseñaron estrategias de respuesta específicas para cada riesgo, con el objetivo de minimizar su impacto y asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Así, identificamos los riesgos más críticos, los priorizamos y establecimos medidas para mitigarlos. Esto contribuyó a garantizar la seguridad de los trabajadores, la calidad del proyecto y el cumplimiento de los plazos establecidos.

Para realizar la matriz de análisis cualitativo de riesgos, se analiza evaluando su probabilidad de ocurrencia, y el impacto que podría tener sobre el proyecto si ocurre, se asigna a cada riesgo un valor de probabilidad e impacto en una escala del 1 al 5, donde 1 representa una probabilidad-impacto bajo y 5 una probabilidad-impacto alta.

Tabla 2. Matriz de análisis cualitativo de riesgos

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Categoría
Presencia de rocas en el subsuelo	5	4	Alta
Estabilidad de las paredes de excavación	4	5	Alta
Congestión del tráfico en las vías cercanas al sitio de trabajo	4	3	Media
Deslizamientos de tierra durante la excavación	5	5	Alta
Inestabilidad del terreno debido a condiciones geotécnicas complejas	5	4	Alta
Contaminación del suelo o del agua subterránea	4	4	Media
Dificultades para la disposición adecuada de los materiales excavados	4	4	Media
Daños a infraestructuras existentes cercanas al sitio de trabajo	5	5	Alta
Interrupción de servicios públicos como agua, electricidad o comunicaciones	4	5	Alta
Accidentes laborales debido a condiciones inseguras de trabajo	4	4	Media
Exposición a sustancias peligrosas durante la excavación	3	4	Media

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Categoría
Incumplimiento de normativas ambientales y de seguridad	4	5	Alta
Falta de coordinación entre los diferentes equipos de trabajo	3	5	Media
Problemas de comunicación entre los distintos actores del proyecto	3	5	Media
Incumplimiento de los plazos establecidos debido a retrasos en la excavación	4	5	Alta
Pérdida de productividad debido a condiciones climáticas adversas	4	4	Media
Falta de capacitación del personal en temas de seguridad y gestión de riesgos	3	5	Media
Robo o vandalismo en el sitio de trabajo	2	2	Baja
Problemas de acceso al sitio de trabajo debido a condiciones climáticas o geográficas	4	5	Alta
Pérdida de documentos o información importante para el proyecto	2	1	Baja
Problemas de coordinación con proveedores y subcontratistas	3	4	Media
Falta de recursos financieros para hacer frente a imprevistos	4	4	Media
Conflictos laborales o problemas de relaciones laborales	3	3	Media
Cambios en la normativa legal que afecten al proyecto	3	5	Media
Falta de control en el cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos	3	5	Media

Fuente: Elaboración propia

Los valores de probabilidad e impacto son los valores medios de la mesa de juicio de expertos aplicado en el proyecto.

4.3.4 Realizar el análisis cuantitativo de riesgos

Para la matriz cuantitativa, asignaremos valores numéricos a las probabilidades y los impactos para calcular un valor numérico de riesgo.

Tabla 3. Criterios de calificación probabilidad e impacto

Probabilidad	Descripción	Valoración
1	Muy baja: Poco probable	0 – 20%
2	Baja: Remoto	21 – 40%
3	Media: Ocasional	41 – 60%
4	Alta: Probable	61 – 80%
5	Muy alta: Frecuente	81 – 100%

Impacto	Consecuencia	Valoración
1	Daños menores que no provocan paro	Muy bajo
2	Daños menores que provocan paro	Bajo
3	Daños considerables	Medio
4	Daños mayores con efectos a largo plazo	Alto
5	Daños permanentes	Muy alto

Fuente: Guglielmetti V., et al (2007)

Tabla 4. Matriz de análisis cuantitativo de riesgos

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Presencia de rocas en el subsuelo	5	4	20
Estabilidad de las paredes de excavación	4	5	20
Congestión del tráfico en las vías cercanas al sitio de trabajo	4	3	12
Deslizamientos de tierra durante la excavación	5	5	25
Inestabilidad del terreno debido a condiciones geotécnicas complejas	5	4	20
Contaminación del suelo o del agua subterránea	4	4	16
Dificultades para la disposición adecuada de los materiales excavados	4	4	16
Daños a infraestructuras existentes cercanas al sitio de trabajo	5	5	25
Interrupción de servicios públicos como agua, electricidad o comunicaciones	4	5	20
Accidentes laborales debido a condiciones inseguras de trabajo	4	4	16
Exposición a sustancias peligrosas durante la excavación	3	4	12

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Incumplimiento de normativas ambientales y de seguridad	4	5	20
Falta de coordinación entre los diferentes equipos de trabajo	3	5	15
Problemas de comunicación entre los distintos actores del proyecto	3	5	15
Incumplimiento de los plazos establecidos debido a retrasos en la excavación	4	5	20
Pérdida de productividad debido a condiciones climáticas adversas	4	4	16
Falta de capacitación del personal en temas de seguridad y gestión de riesgos	3	5	15
Robo o vandalismo en el sitio de trabajo	2	2	4
Problemas de acceso al sitio de trabajo debido a condiciones climáticas o geográficas	4	5	20
Pérdida de documentos o información importante para el proyecto	2	1	2
Problemas de coordinación con proveedores y subcontratistas	3	4	12
Falta de recursos financieros para hacer frente a imprevistos	4	4	16
Conflictos laborales o problemas de relaciones laborales	3	3	9
Cambios en la normativa legal que afecten al proyecto	3	5	15
Falta de control en el cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos	3	5	15

Fuente: Elaboración propia

La valoración cuantitativa es el resultado de multiplicar la probabilidad por el impacto, generando un valor numérico que aporta ubicación en el mapa de calor acorde a su magnitud.

4.3.5 Planificar la respuesta a los riesgos

De acuerdo con la matriz de análisis cuantitativo, se realiza una selección y priorización de los riesgos según el grado de amenaza que representan dentro del proyecto.

Tabla 5. Mapa de calor basado en la matriz de riesgo cuantitativo

PROBABILIDAD		CONSECUENCIA				
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
		1	2	3	4	5
Muy alta	5	5	10	15	20	25
Alta	4	4	8	12	16	20
Media	3	3	6	9	12	15
Baja	2	2	4	6	8	10
Muy baja	1	1	2	3	4	5

Una vez priorizados, se lleva a cabo la planificación de la respuesta en términos de alcance, tiempo y costos, considerando los recursos disponibles y el apetito de riesgo de la compañía. Esta planificación es crucial para la posterior implementación efectiva de las respuestas a los riesgos, garantizando que se aborden de manera adecuada y se minimicen las amenazas, mientras se maximizan las oportunidades para el proyecto.

Tabla 6. Enfoque basado en una matriz de riesgo

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo
Presencia de rocas en el subsuelo	Condiciones geológicas no detectadas / Retrasos en la excavación, daños a equipos, aumento de costos	4	5	20
Estabilidad de las paredes de excavación	Falta de refuerzo adecuado, condiciones geotécnicas cambiantes / Colapsos, accidentes laborales	5	4	20
Congestión del tráfico en las vías cercanas al sitio de trabajo	Falta de planificación del tráfico / Retrasos en el transporte de materiales, aumento de tiempos de proyecto	3	4	12
Deslizamientos de tierra durante la excavación	Condiciones del terreno no estabilizadas / Interrupciones en el trabajo, daños a equipos	5	5	25
Inestabilidad del terreno debido a condiciones geotécnicas complejas	Falta de estudios geotécnicos detallados / Retrasos en la obra, necesidad de rediseños	4	5	20

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo
Contaminación del suelo o del agua subterránea	Manejo inadecuado de materiales contaminantes / Daños ambientales, sanciones legales	4	4	16
Dificultades para la disposición adecuada de los materiales excavados	Falta de planificación en la gestión de residuos / Aumento de costos, sanciones legales	4	4	16
Daños a infraestructuras existentes cercanas al sitio de trabajo	Vibraciones, impactos no controlados / Costos de reparación, retrasos en el proyecto	5	5	25
Interrupción de servicios públicos como agua, electricidad o comunicaciones	Trabajos de excavación no coordinados con proveedores de servicios / Retrasos, insatisfacción de la comunidad	5	4	20
Accidentes laborales debido a condiciones inseguras de trabajo	Falta de medidas de seguridad adecuadas / Lesiones a los trabajadores, sanciones legales	4	4	16
Exposición a sustancias peligrosas durante la excavación	Manejo inadecuado de sustancias peligrosas / Problemas de salud para los trabajadores, sanciones legales	4	3	12
Incumplimiento de normativas ambientales y de seguridad	Falta de conocimiento o atención a las normativas / Sanciones legales, paralización de la obra	5	4	20
Falta de coordinación entre los diferentes equipos de trabajo	Comunicación ineficaz, falta de reuniones de coordinación / Retrasos en el proyecto, errores de ejecución	5	3	15
Problemas de comunicación entre los distintos actores del proyecto	Falta de herramientas de comunicación efectivas / Retrasos, malentendidos, errores en la ejecución	5	3	15
Incumplimiento de los plazos establecidos debido a retrasos en la excavación	Problemas geotécnicos, climáticos o de planificación / Aumento de costos, penalizaciones contractuales	5	4	20
Pérdida de productividad debido a condiciones climáticas adversas	Falta de planes de contingencia / Retrasos en la obra, aumento de costos	4	4	16
Falta de capacitación del personal en temas de seguridad y gestión de riesgos	Falta de programas de formación continua / Aumento de accidentes laborales, incumplimiento de normativas	5	3	15
Robo o vandalismo en el sitio de trabajo	Falta de medidas de seguridad adecuadas / Pérdida de materiales y equipos, retrasos en el proyecto	2	2	4

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo
Problemas de acceso al sitio de trabajo debido a condiciones climáticas o geográficas	Falta de planificación de accesos alternativos / Retrasos en el proyecto, dificultades logísticas	5	4	20
Pérdida de documentos o información importante para el proyecto	Falta de medidas de respaldo y almacenamiento seguro / Retrasos, errores en la ejecución, pérdida de información crítica	1	2	2
Problemas de coordinación con proveedores y subcontratistas	Falta de acuerdos claros, mala comunicación / Retrasos en la entrega de materiales y servicios, aumento de costos	4	3	12
Falta de recursos financieros para hacer frente a imprevistos	Falta de planificación financiera, ausencia de reservas / Paralización del proyecto, problemas de liquidez	4	4	16
Conflictos laborales o problemas de relaciones laborales	Comunicación ineficaz, falta de resolución de conflictos / Retrasos, disminución de la productividad	3	3	9
Cambios en la normativa legal que afecten al proyecto	Actualizaciones legales, falta de monitoreo de cambios en normativas / Sanciones legales, necesidad de ajustes en el proyecto	5	3	15
Falta de control en el cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos	Falta de supervisión y auditorías periódicas / Aumento de accidentes laborales, sanciones legales	5	3	15

4.3.6 Implementar la respuesta a los riesgos

La implementación de la respuesta a los riesgos es un componente fundamental en la gestión de proyectos, especialmente en proyectos complejos como la excavación de un sótano de grandes dimensiones. Según la metodología del Project Management Institute, este proceso implica como planificar la forma en se va a prevenir y evitar que los riesgos se materialicen que permitan responder de manera efectiva en caso de que se materialicen los riesgos identificados, para el caso de estudio.

En el caso de nuestro proyecto de excavación del sótano, se han diseñado estrategias de mitigación para cada uno de los 25 riesgos identificados.

Tabla 7. Matriz implementación respuesta al riesgo

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Medida de respuesta	Impacto	Probabilidad	Riesgo
Presencia de rocas en el subsuelo	Condiciones geológicas no detectadas / Retrasos en la excavación, daños a equipos, aumento de costos	4	5	20	Implementar un programa de monitoreo geotécnico continuo para detectar la presencia de rocas tempranamente y planificar medidas preventivas y de contingencia.	3	4	12
Estabilidad de las paredes de excavación	Falta de refuerzo apropiados, condiciones geotécnicas cambiantes / Colapsos, accidentes de trabajo.	5	4	20	Diseñar estrategias de refuerzo y monitorización continuas de las paredes de excavación para garantizar su estabilidad y evitar deslizamientos o colapsos.	3	4	12
Congestión del tráfico en las vías cercanas al sitio de trabajo	Falta de planificación del tráfico / Retrasos en el transporte de materiales	3	4	12	Coordinar con autoridades de tránsito y diseñar rutas alternas para minimizar el impacto en el tráfico.	2	3	6
Deslizamientos de tierra durante la excavación	Condiciones del terreno no estabilizadas / Interrupciones en el trabajo, daños a equipos	5	5	25	Implementar medidas de estabilización del terreno y realizar análisis geotécnicos periódicos para detectar deslizamientos potenciales y actuar preventivamente.	3	4	12
Inestabilidad del terreno debido a condiciones geotécnicas complejas	Falta de estudios geotécnicos detallados / Retrasos en la obra, necesidad de rediseños	4	5	20	Realizar estudios geotécnicos detallados y diseñar medidas de estabilización y refuerzo adecuadas.	3	4	12

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Medida de respuesta	Impacto	Probabilidad	Riesgo
Contaminación del suelo o del agua subterránea	Manejo inadecuado de materiales contaminantes / Daños ambientales, sanciones legales	4	4	16	Establecer medidas de control y monitoreo ambiental para prevenir la contaminación durante la excavación.	2	4	8
Dificultades para la disposición adecuada de los materiales excavados	Falta de planificación en la gestión de residuos / Aumento de costos, sanciones legales	4	4	16	Diseñar estrategias para la disposición adecuada de los materiales excavados, considerando opciones de reutilización, reciclaje o disposición en vertederos autorizados.	2	3	6
Daños a infraestructuras existentes cercanas al sitio de trabajo	Vibraciones, impactos no controlados / Costos de reparación, retrasos en el proyecto	5	5	25	Establecer medidas de protección para infraestructuras existentes y realizar inspecciones periódicas para detectar y mitigar daños potenciales.	3	4	12
Interrupción de servicios públicos como agua, electricidad o comunicaciones	Trabajos de excavación no coordinados con proveedores de servicios / Retrasos, insatisfacción de la comunidad	5	4	20	Coordinar con las empresas prestadoras de servicios públicos para garantizar la continuidad de los servicios durante la ejecución del proyecto.	2	3	6
Accidentes laborales debido a condiciones inseguras de trabajo	Falta de medidas de seguridad adecuadas / Lesiones a los trabajadores, sanciones legales	4	4	16	Implementar medidas de seguridad y capacitaciones periódicas para garantizar condiciones de trabajo seguras.	3	4	12
Exposición a sustancias peligrosas durante la excavación	Manejo inadecuado de sustancias peligrosas / Problemas de salud para	4	3	12	Establecer protocolos de seguridad para el manejo adecuado de sustancias	2	3	6

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Medida de respuesta	Impacto	Probabilidad	Riesgo
	los trabajadores, sanciones legales				peligrosas y proporcionar el equipo de protección adecuado al personal.			
Incumplimiento de normativas ambientales y de seguridad	Falta de conocimiento o atención a las normativas / Sanciones legales, paralización de la obra	5	4	20	Realizar auditorías periódicas para verificar el cumplimiento de las normativas y tomar acciones correctivas en caso de incumplimiento.	3	4	12
Falta de coordinación entre los diferentes equipos de trabajo	Comunicación ineficaz, falta de reuniones de coordinación / Retrasos en el proyecto, errores de ejecución	5	3	15	Establecer reuniones regulares de coordinación y designar un responsable de la coordinación entre los equipos de trabajo.	2	3	6
Problemas de comunicación entre los distintos actores del proyecto	Falta de herramientas de comunicación efectivas / Retrasos, malentendidos, errores en la ejecución	5	3	15	Implementar herramientas de comunicación efectiva y fomentar una cultura de comunicación abierta y transparente entre todos los actores del proyecto.	2	3	6
Incumplimiento de los plazos establecidos debido a retrasos en la excavación	Problemas geotécnicos, climáticos o de planificación / Aumento de costos, penalizaciones contractuales	5	4	20	Establecer hitos y plazos claros y realizar seguimientos periódicos para garantizar el cumplimiento de los mismos.	3	4	12
Pérdida de productividad debido a condiciones climáticas adversas	Falta de planes de contingencia / Retrasos en la obra, aumento de costos	4	4	16	Diseñar planes de contingencia para hacer frente a condiciones climáticas adversas y minimizar su impacto en la productividad del proyecto.	2	3	6

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Medida de respuesta	Impacto	Probabilidad	Riesgo
Falta de capacitación del personal en temas de seguridad y gestión de riesgos	Falta de programas de formación continua / Aumento de accidentes laborales, incumplimiento de normativas	5	3	15	Realizar capacitaciones periódicas para garantizar que todo el personal esté debidamente capacitado en temas de seguridad y gestión de riesgos.	2	3	6
Robo o vandalismo en el sitio de trabajo	Falta de medidas de seguridad adecuadas / Pérdida de materiales y equipos, retrasos en el proyecto	2	2	4	Establecer medidas de seguridad adicionales y sistemas de vigilancia para prevenir el robo o vandalismo en el sitio de trabajo.	1	2	2
Problemas de acceso al sitio de trabajo debido a condiciones climáticas o geográficas	Falta de planificación de accesos alternativos / Retrasos en el proyecto, dificultades logísticas	5	4	20	Diseñar rutas alternas de acceso y establecer medidas de seguridad adicionales para garantizar el acceso al sitio de trabajo en todo momento.	2	3	6
Pérdida de documentos o información importante para el proyecto	Falta de medidas de respaldo y almacenamiento seguro / Retrasos, errores en la ejecución, pérdida de información crítica	1	2	2	Implementar medidas de respaldo y almacenamiento seguro de la información para prevenir la pérdida de documentos importantes.	1	2	2
Problemas de coordinación con proveedores y subcontratistas	Falta de acuerdos claros, mala comunicación / Retrasos en la entrega de materiales y servicios, aumento de costos	4	3	12	Establecer acuerdos claros y designar un responsable de coordinación con proveedores y subcontratistas.	2	3	6
Falta de recursos financieros para hacer frente a imprevistos	Falta de planificación financiera, ausencia de reservas / Paralización	4	4	16	Realizar un adecuado análisis de costos y establecer reservas	2	4	8

Riesgo	Causa/Consecuencia	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Medida de respuesta	Impacto	Probabilidad	Riesgo
	del proyecto, problemas de liquidez				financieras para hacer frente a imprevistos y contingencias.			
Conflictos laborales o problemas de relaciones laborales	Comunicación ineficaz, falta de resolución de conflictos / Retrasos, disminución de la productividad	3	3	9	Establecer canales de comunicación efectivos para abordar y resolver conflictos laborales de manera oportuna y eficaz.	2	3	6
Cambios en la normativa legal que afecten al proyecto	Actualizaciones legales, falta de monitoreo de cambios en normativas / Sanciones legales, necesidad de ajustes en el proyecto	5	3	15	Realizar un monitoreo constante de los cambios en la normativa legal y tomar las medidas necesarias para cumplir con los requisitos legales en todo momento.	2	3	6
Falta de control en el cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos	Falta de supervisión y auditorías periódicas / Aumento de accidentes laborales, sanciones legales	5	3	15	Establecer mecanismos de control y monitoreo para garantizar el cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos en todo momento.	2	3	6

4.3.7 Monitorear los riesgos

La etapa monitoreo en la gestión de riesgos es crucial para garantizar que las estrategias de respuesta sean efectivas y se ajusten a medida que evoluciona el proyecto. Durante esta etapa, se ejecutan las acciones planificadas para abordar los riesgos identificados y se monitorea su efectividad para asegurar que se están mitigando adecuadamente.

En este último paso de monitorear los riesgos se realiza cuando se le da seguimiento al proyecto, el esfuerzo de planificación no sirve si no se controlan los riesgos. En este paso se monitorean el estado de los riesgos, sus respuestas, el contexto y las tendencias que pueden impactar el proyecto. Durante la realización del proyecto hay que estar en alerta, en el mejor de los casos requieren pequeños ajustes, y en el peor de ellos reestructuración significativa, esto es muy relacionado al control de los riesgos.

En el caso del proyecto de excavación del sótano, se implementaron las estrategias de respuesta diseñadas previamente.

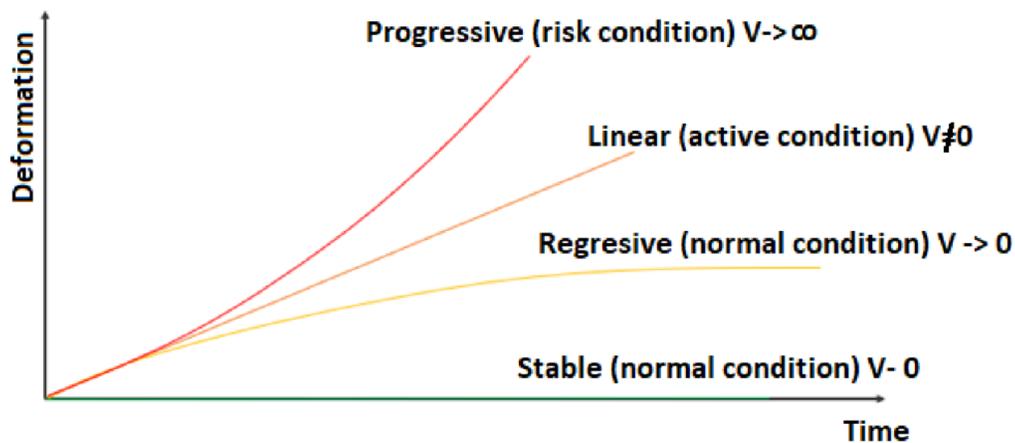


Figura 6. Tendencia de los desplazamientos y alarma para toma de decisiones.

Fuente: Remote sensing monitoring applications for landslides in infrastructure projects in Colombia.

Los riesgos podrían cambiar de importancia o desaparecer durante el proyecto, así como pueden surgir nuevos riesgos por eso hay que controlarlos periódicamente, durante la etapa de monitoreo del proyecto en estudio, se realizaron reuniones regulares de seguimiento con el equipo de trabajo para mantener informados a los interesados, evaluar la

efectividad de las estrategias implementadas, actualizar el registro de riesgos y ajustarlas según fuera necesario.

Riesgo	Medidas de Control	Responsable	Fecha de Implementación	Seguimiento
Presencia de rocas en el subsuelo	Monitoreo continuo durante la excavación	Equipo de geotecnia	Durante toda la excavación	Inspecciones regulares de la zona de excavación
Estabilidad de las paredes de excavación	Inspecciones regulares de las paredes	Equipo de seguridad y geotecnia	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo de la estabilidad de las paredes
Congestión del tráfico en las vías cercanas al sitio de trabajo	Monitoreo continuo del tráfico y ajuste de medidas	Equipo de logística y coordinación	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo del tráfico y ajuste según necesidad
Deslizamientos de tierra durante la excavación	Monitoreo continuo de los taludes	Equipo de geotecnia y seguridad	Durante toda la excavación	Monitoreo constante de los taludes y medidas preventivas
Inestabilidad del terreno debido a condiciones geotécnicas complejas	Monitoreo continuo y ajuste según recomendaciones geotécnicas	Equipo de geotecnia y seguridad	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Contaminación del suelo o del agua subterránea	Monitoreo continuo de la calidad del suelo y agua	Equipo de medio ambiente y seguridad	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo de la calidad ambiental
Dificultades para la disposición adecuada de los materiales excavados	Coordinación con empresas especializadas en gestión de residuos	Equipo de logística y medio ambiente	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Daños a infraestructuras existentes cercanas al sitio de trabajo	Inspecciones regulares de las infraestructuras	Equipo de seguridad y logística	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo de las infraestructuras y ajustes

Riesgo	Medidas de Control	Responsable	Fecha de Implementación	Seguimiento
Interrupción de servicios públicos como agua, electricidad o comunicaciones	Coordinación con proveedores de servicios para garantizar continuidad	Equipo de logística y coordinación	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Accidentes laborales debido a condiciones inseguras de trabajo	Implementación y monitoreo de medidas de seguridad	Equipo de seguridad y recursos humanos	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo de las condiciones de trabajo
Exposición a sustancias peligrosas durante la excavación	Implementación y monitoreo de medidas de control de riesgos químicos	Equipo de seguridad y salud ocupacional	Durante toda la excavación	Monitoreo continuo de la exposición a sustancias químicas
Incumplimiento de normativas ambientales y de seguridad	Auditorías regulares de cumplimiento normativo	Equipo de gestión de calidad y seguridad	Durante toda la excavación	Auditorías periódicas y ajustes según necesidad
Falta de coordinación entre los diferentes equipos de trabajo	Reuniones regulares de coordinación	Equipo de coordinación	Durante todo el proyecto	Reuniones periódicas y ajustes según necesidad
Problemas de comunicación entre los distintos actores del proyecto	Monitoreo continuo de la comunicación y ajuste de canales	Equipo de comunicación y coordinación	Durante todo el proyecto	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Incumplimiento de los plazos establecidos debido a retrasos en la excavación	Seguimiento detallado de la planificación y ajustes necesarios	Equipo de planificación y coordinación	Durante todo el proyecto	Revisión periódica de avances y ajustes según necesidad
Pérdida de productividad debido a condiciones climáticas adversas	Implementación de medidas de contingencia para condiciones climáticas adversas	Equipo de seguridad y logística	Durante todo el proyecto	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Falta de capacitación del personal en temas de seguridad y gestión de riesgos	Implementación de programas de capacitación y concientización	Equipo de recursos humanos y seguridad	Durante todo el proyecto	Evaluaciones periódicas y ajustes según necesidad

Riesgo	Medidas de Control	Responsable	Fecha de Implementación	Seguimiento
Robo o vandalismo en el sitio de trabajo	Implementación de medidas de seguridad y vigilancia	Equipo de seguridad	Durante todo el proyecto	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Problemas de acceso al sitio de trabajo debido a condiciones climáticas o geográficas	Implementación de medidas de acceso y seguridad	Equipo de logística y seguridad	Durante todo el proyecto	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Pérdida de documentos o información importante para el proyecto	Implementación de sistemas de gestión documental y respaldo de información	Equipo de gestión de información	Antes del inicio	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Problemas de coordinación con proveedores y subcontratistas	Establecer acuerdos claros y comunicación efectiva	Equipo de coordinación y contratación	Durante todo el proyecto	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Falta de recursos financieros para hacer frente a imprevistos	Establecer reservas financieras y gestión de contingencias	Equipo de finanzas y gestión de proyectos	Antes del inicio	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Conflictos laborales o problemas de relaciones laborales	Implementar políticas de gestión de conflictos	Equipo de recursos humanos y gestión de proyectos	Durante todo el proyecto	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Cambios en la normativa legal que afecten al proyecto	Establecer sistemas de seguimiento y adaptación a normativas	Equipo legal y gestión de proyectos	Durante todo el proyecto	Monitoreo continuo y ajuste según necesidad
Falta de control en el cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos	Implementar sistemas de control y supervisión	Equipo de seguridad	Durante todo el proyecto	Auditorías y monitoreo continuo de medidas de seguridad

Tabla 5. Implementación y monitoreo

5 CONCLUSIONES, CONSIDERACIONES FINALES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

5.1 Conclusiones de la investigación

Se realizó la identificación de los riesgos potenciales que puedan afectar el desarrollo de proyectos de infraestructura como el caso de estudio de excavación de sótano en zona urbana; comprendiendo que existen riesgos negativos que se pueden escalar, evitar, transfer, mitigar y aceptar según el tipo de amenaza; y, riesgos positivos que se pueden explotar, compartir, mejorar y aceptar, ambas situaciones se darán acordes a la valoración obtenida en la identificación.

Se desarrollo y aplico el plan de gestión de riesgos basado en el estándar del PMI, para el caso de estudio asegurando la implementación según los procedimientos estandarizados.

En el trabajo desarrollado se comprendió que la gestión del riesgo es un componente determinante para el éxito del proyecto u organización dado su aporte en sensibilidad y propuesta de atención a posibles emergencias, ya que permite prever estrategias, recursos y mitigar los posibles impactos negativos que puedan surgir durante la construcción. Y, que existen unos riesgos conocidos donde aplicarían las reservas de contingencias y otros riesgos desconocidos donde irían las reservas de gestión.

El análisis reflexivo para la identificación y evaluación proactiva de los riesgos, y su posterior implementación de estrategias efectivas de mitigación con revisión continua, en un contexto multidisciplinar suma para minimizar las posibles pérdidas y maximizar las oportunidades de éxito.

En la gestión del riesgo la mentalidad y actitud frente a cuidar la integridad de las estructuras debe ser un proceso continuo y adaptable, que requiere una revisión constante y una respuesta ágil a medida que evoluciona el proyecto y las circunstancias y si se presentan nuevas amenazas u oportunidades, detectarlos oportunamente. La capacidad de adaptación y aprendizaje con el uso de herramientas validadas empíricamente es esencial para mantener la resiliencia y la competitividad en un entorno empresarial en constante cambio.

La implementación de Project Management Institute (PMI) permitió una gestión de riesgos más robusta y flexible, minimizando impactos negativos y cumpliendo exitosamente con los objetivos del proyecto.

5.2 Consideraciones finales

A partir del caso de estudio se propone utilizar el desarrollo y aplicación del caso de estudio como procedimientos y herramientas de los proyectos de infraestructura donde haya presencia de excavaciones profundas para facilitar su implementación y seguimiento.

La matriz de riesgos elaborada para el proyecto del caso de estudio siguió los principios y lineamientos de la NTC 5254, ISO 31000 y la metodología Project Management Institute (PMI), organización que promueve las buenas prácticas en dirección de proyectos, y, permitió un análisis y gestión más dinámica y adaptable de los riesgos particulares del caso de estudio. La implementación de la metodología Project Management Institute (PMI), fue esclarecedor en cuanto al paso a paso y determinante para centrarse en identificar y mitigar los principales riesgos asociados en el proyecto de la excavación. Los resultados del estudio de caso presentan un análisis de riesgos con varios factores críticos, como la presencia de rocas en el subsuelo, la inestabilidad de las paredes durante y post excavación y los deslizamientos de tierra, todos estos presentaban altos niveles de riesgo inicial. Esta identificación y valoración de riesgos, si no se gestionan adecuadamente, podrían haber causado retrasos significativos afectando el cronograma, aumentado los costos y con la exposición de peligro a la seguridad de los trabajadores.

Uno de los aspectos claves fue la necesidad de una coordinación activa y efectiva entre los diferentes equipos de trabajo y actores del proyecto, incluido el patrocinador. La falta de comunicación se identificó como un riesgo moderado, que se minimizó tras la implementación de herramientas de comunicación y reuniones de coordinación regulares.

5.3 Futuras líneas de investigación

Como futura línea de investigación se propone el análisis de riesgo estocástico y valorar la sensibilidad entre un impacto y otro y la introducción de variabilidad en los precios unitarios en función del tiempo.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2004). Norma Técnica Colombiana NTC 5254: Gestión del riesgo. ICONTEC

Project Management Institute, Inc (2017). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). Sexta Edición. Newtown Square

Project Management Institute, Inc (2019). El estándar para la gestión de riesgos en portafolios, programas y proyectos. Newtown Square

UPB, Mario Hernán Betancur Toro, Oswaldo de Jesús Vélez Caballero, John Jorge Rincón Rodríguez, Mario Sergio Gómez Rueda, Wilson Rincón Martínez (2021). Fallos en gerencia de proyectos: cinco casos de estudio en Colombia. Website: UPB

Buchtik (2012), Secretos para dominar la gestión de riesgos en proyectos. Buchtik Global. Grafica Mosca depósito Legal Uruguay.

Guglielmetti, V., et al. (2007). Mechanized tunnelling in urban areas, design methodology and construction control. Geodata S.p.A., Turin, Italy.

ISO. (2018). ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. International Organization for Standardization.

Aguilar, Farjeat (2022). Análisis de riesgos en la construcción de una lumbrera con el procedimiento de flotación. Revista Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica Número 265. Septiembre-Noviembre 2022.

Mayank Mishra, Paulo B. Lourenço, G.V. Ramana (2022). Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review. Journal of Building Engineering 48 (2022) 103954. Journal of Building Engineering journal homepage: www.elsevier.com/locate/job

López M. (2024). Gestión de riesgos - Proyectos de infraestructura: Asociaciones Público-Privadas. Primera Edición.

Hillson, D. (2009). Managing risk in projects (2nd ed.). Gower Publishing.

Hoek, E., & Palmieri, A. (1998). Geotechnical risks on large civil engineering projects. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13(1), 31-44.
[https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(98\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(98)00025-0)

Yu Otake, Yusuke Honjo (2022). Challenges in geotechnical design revealed by reliability assessment: Review and future perspectives. Available online at *Soils and Foundations* 62 (2022) 101129 www.elsevier.com/locate/sandf

Johanna Merisalu, Jonas Sundell, Lars Rosen (2023). Probabilistic cost-benefit analysis for mitigating hydrogeological risks in underground construction. *Tunnelling and Underground Space Technology* 131 (2023) 104815

C. Bauduin, A.A. Kirstein (2022). Design, construction and monitoring of an underwater retaining wall close to an existing immersed tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology* 120 (2022) 104311

Xuyang Li, Yue Pan, Limao Zhang, Jinjian Chen (2023). Dynamic and explainable deep learning-based risk prediction on adjacent building induced by deep excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology* 140 (2023) 105243

Weili Fang, Yixiao Shao, Peter E.D. Love, Timo Hartmann, Wenli Liu (2023). Detecting anomalies and de-noising monitoring data from sensors: A smart data approach. *Advanced Engineering Informatics* 55 (2023) 101870

Antonio J. Sanchez-Garrido, Ignacio J. Navarro, Víctor Yepes (2022). Evaluating the sustainability of soil improvement techniques in foundation substructures. *Journal of Cleaner Production* 351 (2022) 131463

Kok-Kwang Phoon, Zi-Jun Cao, Takayuki Shuku, Jian Ji, Yat Fai Leung, Shadi Najjar, Chong Tang, Zhen-Yu Yin, Yoshida Ikumasa, Jianye Ching (2022). Geotechnical uncertainty, modeling, and decision making. Available online at www.sciencedirect.com *Soils and Foundations* 62 (2022) 101189

Chuang-Bing Zhou, Yi-Feng Chen, Ran Hu, Zhibing Yang (2023). Groundwater flow through fractured rocks and seepage control in geotechnical engineering: Theories and practices. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 15 (2023)

Marco Nunzio Pascariello, Antonio Luciano, Emilio Bilotta, Sinan Acikgoz, Robert Mair (2023). Numerical modelling of the response of two heritage masonry buildings to nearby tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology* 131 (2023) 104845

Alfredo Serpell, Ximena Ferrada, Larissa Rubio, Sergio Arauzo, Alfredo Serpell, Ximena Ferrada, Larissa Rubio, Sergio Arauzo (2015). Evaluating risk management practices in construction organizations. Available online at www.sciencedirect.com *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 194 (2015) 201 – 210 28th IPMA World Congress, IPMA 2014, 29 September – 1 October 2014, Rotterdam, The Netherlands

Bo Liu, Dingwen Zhang, Yuanyuan Wang, Ningning Wang, Wen Xu (2023). Design optimization and observed performance of a super-large foundation pit excavation subjected to unsymmetrical loading in water-rich floodplain: A case study. Available online at www.sciencedirect.com *Soils and Foundations* 63 (2023) 101329 www.elsevier.com/locate/sandf

Naifei Liu, Desai Guo, Zhanping Song, Shiming Zhong, Ruoqi Hu (2023). BIM-based digital platform and risk management system for mountain tunnel construction. *Scientific Reports* | (2023) 13:7585 | <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34525-w>

P. Castaldoa, F. Jalayerb, B. Palazzoc (2017). Probabilistic assessment of groundwater leakage in diaphragm wall joints for deep excavations. Contents lists available at ScienceDirect *Tunnelling and Underground Space Technology* journal homepage: www.elsevier.com/locate/tust

Abdussalam Shibani, Dyaa Hasan, Jalal Saaifan, Heba Sabboubbeh, Mohamad Eltaip, Messaoud Saidani, Nawal Gherbal (2022). Financial risk management in the construction projects. Contents lists available at ScienceDirect *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*

Ozan Okudan, Cenk Budayan, Irem Dikmen (2021). A knowledge-based risk management tool for construction projects using case-based reasoning. Contents lists available at ScienceDirect *Expert Systems With Applications* journal homepage: www.elsevier.com/locate/eswa

Jones, T. A., & Smith, J. D. (2019). Risk management in construction projects. *Procedia Engineering* 208 (2017) 174–182

Smith, J. D., Williams, R. T., & Davis, M. S (2019). *Risk Management in Construction Projects: A Comprehensive Guide*. CRC Press