METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS Y SU IMPACTO EN LA ETAPA DE PLANEACIÓN PARA SOPORTAR EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES CON ENFOQUE MATEMÁTICO APLICADO A PROYECTOS DE EXTRACCIÓN DE MINERALES

Caso de estudio minería de carbón coquizable en Colombia

Autor: Nilson Daniel Cadena Forero

Tutor: MEng. Ingeniero Guillermo Enrique Real Flórez

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Maestría en Ingeniería Industrial

Énfasis en Sistemas productivos y logísticos

Bogotá, Colombia

mayo de 2024

Contenido

Resumen 8

Palabras Clave 9

Introducción 10

1. Problema de investigación 12

1.1 Planteamiento del problema 12

1.2 Formulación del problema 13

1.3 Objetivo General 13

1.4 Objetivos Específicos 13

1.5 Justificación 14

2. Marco de Referencia 16

2.1 Marco Teórico 16

2.1.1 Lógica difusa 22

2.1.2 Dinámica de sistemas 23

2.1.3 Simulación Monte Carlo 24

2.1.4 Teorema de Bayes 25

2.1.5 Regresión jerárquica 26

2.1.6 Coeficiente de correlación 26

2.1.7 Juego de probabilidad FOA 27

2.1.8 Regresión matemática 27

2.1.9 Metodología del valor agregado EVM 28

2.1.10 Red de relacionamiento de riesgos 29

2.1.11 Matriz DSM 29

2.1.12 Valor del proyecto basado en riesgo RPV 30

2.1.13 Proceso jerárquico analítico AHP 30
2.1.14 Programación lineal 31
2.1.15 Análisis de significancia del riesgo 31
2.1.16 Correlación Spearman 32
2.1.17 Valor presente neto VPN 33
2.1.18 Método PERT 33
2.1.19 Resumen métodos matemáticos: 34
2.2 Marco conceptual 44
2.2.1 Riesgo 44
2.2.2 Incertidumbre 46
2.2.3 Gobernabilidad 47
2.2.4 Probabilidad de ocurrencia del riesgo 47
2.2.5 Impacto del riesgo 48
2.2.6 Carbón metalúrgico 48
2.2.7 Planeamiento minero 49
2.2.8 Proyecto minero de explotación de carbón metalúrgico 50
3. Hipótesis 51
4. Alcance y limitaciones 52
5. Metodología 53
6. Caso de estudio: proyecto de minería de carbón coquizable 54
6.1 Introducción Proyecto Minero San Carlos Caparrapí, Cundinamarca 54
6.2 Actividades Generales Proyecto Minero San Carlos 57
6.2.1 Frente minero - operacional 58
6.2.2 Frente administrativo 58
6.2.3 Frente legal 58

6.2.4 Frente social 58
6.2.5 Frente ambiental 58
6.2.6 Frente comercial 59
6.3 Actividades particulares Proyecto Minero San Carlos 59
6.4 Identificación de riesgos Proyecto Minero San Carlos 60
6.4.1 Accidentes laborales SST 61
6.4.2 Accidentes por riesgos críticos 61
6.4.3 Afectación por clima 62
6.4.4 Bloqueo social 62
6.4.5 Cierre por Autoridad Ambiental y/o Legal 62
6.4.6 Derrumbamiento de masas de tierra 62
6.4.7 Desabastecimiento de combustibles e insumos 63
6.4.8 Desabastecimiento de flujo eléctrico 63
6.4.9 Desabastecimiento servicios por fallos mecánicos de la maquinaria amarilla y volquetas 63
6.4.10 Desabastecimiento total por parte de proveedores 63
6.4.11 Disminución del material explotado en frente de explotación 63
6.4.12 Falla geológica por explotación minera 64
6.4.13 Pérdida de mano de obra calificada 64
6.4.14 Variación en parámetros de calidad del material explotado 64
6.4.15 Variaciones en el mercado de carbón 64
7. Metodología para la evaluación del riesgo en proyectos en la etapa de planeación 65
7.1 Definición de la metología para la evaluación del riesgo en proyectos en la etapa de planeación 65
7.2 Explicación de la metodología para la evaluación del riesgo en proyectos en la etapa de planeación 66

7.2.1 Evaluación cualitativa del riesgo (Probabilidad e impacto) 69

7.2.2 Red de riesgos 70

7.2.3 Evaluación cuantitativa de ocurrencia e impacto del riesgo desde el punto de vista local 71

7.2.4 Cálculo de la frecuencia estadística del riesgo 72

7.2.5 Evaluación de la actividad en función del riesgo 73

7.2.6 Evaluación de red de actividades en función del riesgo 74

7.3 Percepción del riesgo en los proyectos 75

8. Evaluación del proyecto caso de estudio aplicando la metodología propuesta 77

9. Validación de metodología propuesta para la evaluación de riesgo en proyectos 88

10. Conclusiones 94

11. Referencias 98

12. Anexos 107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología SHAMPU (Ward & Chapman, 2003)……...17
Tabla 2. Metodología RAMP (Institution of Civil Engineers, 2005). ….....18
Tabla 3. Metodología PRAM (Chapman, 1997). Elaboración propia……..19
Tabla 4. Metodología PMBOK (Project Management Institute, 2013)……..……..20
Tabla 5. Resumen revisión de métodos matemáticos aplicados al riesgo en la gestión de proyectos. ……..……...34
Tabla 6. Revisión de definiciones referentes al riesgo en el ámbito de la gestión de proyectos. ……..……...45
Tabla 7. Cuantificación de recursos en el proyecto minero San Carlos, Caparrapí, Cundinamarca por mantos…….56
Tabla 8. Calidades analizadas por manto de explotación en el proyecto minero San Carlos, Caparrapí, Cundinamarca.....57
Tabla 9. Relación de actividades asociadas al proyecto categorizadas por frente de trabajo. 59
Tabla 10. Definición de riesgos asociados al proyecto.…..... 61
Tabla 11. Métodos matemáticos utilizados para la construcción de la metodología.…..... 65
Tabla 12. Probabilidad e impacto cualitativo asociado a cada riesgo en el proyecto…….78
Tabla 13. Descripción de la subsecuencia de los riesgos asociados al proyecto……...79
Tabla 14. Definición de la probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes…….....86
Tabla 15. Comparación tiempos de ejecución de actividades.....……91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelación en 3D de mantos de explotación carbonífera Proyecto San Carlos Caparrapí, Cundinamarca 55
Ilustración 2. Flujograma de método de evaluación del riesgo propuesto fase a fase 68
Ilustración 3. Matriz DSM de asignación de riesgos. 70
Ilustración 4. Red de riesgos presentes en el análisis inicial... 71
Ilustración 5. Red de riesgos presentes en la evaluación final de la criticidad total asociada a los riesgos.....87
Ilustración 6. Red de actividades inicial, ruta crítica según tiempos por actividad……..88
Ilustración 7. Diagrama de Gantt con tiempos propuestos iniciales. ……..89
Ilustración 8. Red de actividades final, ruta crítica por metodología de gestión de riesgos...90
Ilustración 9. Diagrama de Gantt con tiempos de ejecución reales. ……...90
Ilustración 10. Gráfica riesgo acumulado total por red de actividades……92
Ilustración 11. Gráfica comparativa metodología PERT vs metodología propuesta……..96

RESUMEN

El presente trabajo propone una metodología de evaluación cuantitativa del riesgo en un proyecto, basada en el criterio de expertos y considerando el impacto en las tareas que lo conforman. Inicialmente, el documento presenta las metodologías y herramientas identificadas en el estado del arte, destacando la dificultad en los procesos de toma de decisiones durante la planificación de proyectos, especialmente en la priorización de tareas y recursos para alcanzar las metas. La metodología propuesta tiene como objetivo mejorar la eficiencia en la alineación de los objetivos de un proyecto mediante un enfoque combinado el cual alinea el criterio de expertos con una herramienta matemática. Mediante una evaluación cualitativa al riesgo en cada tarea del proyecto y la evaluación de su incidencia al momento de materializar entre los diferentes riesgos, se combina este con una evaluación cuantitativa, dando al gestor del proyecto una ruta crítica enfocada a la gestión del riesgo y la probable ocurrencia de impactos ya valorizados. Esta metodología se aplica en este trabajo a un proyecto de producción minera de carbón coquizable en Colombia ya ejecutado, esto con el fin de comparar la evaluación de la metodología de definición de ruta crítica con la propuesta.

PALABRAS CLAVE

Riesgo, Evaluación, Impacto, Proyecto, Decisión, Carbón coquizable, Minería

INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos se ha ocupado de establecer métodos, metodologías y herramientas con el fin de facilitar a los gestores una visión adecuada del proyecto, generando una eficiencia en el logro de los objetivos. Dentro de ella, la gestión del riesgo ha cobrado importancia debido al aporte que genera el análisis de las diferentes desviaciones o eventos posibles que puedan ocurrir en la ejecución de las tareas y la respectiva desviación en el logro de los objetivos, ya que los interesados buscan una gestión adecuada que permita disminuir impactos asociados al costo y al tiempo.

Los métodos cuantitativos para la gestión del riesgo se han enfocado en establecer métricas y modelos de evaluación que permitan visualizar de manera concisa y cuantitativa la gestión del riesgo, apoyando los procesos de toma de decisiones por parte de los gestores y asegurando un mayor logro en los objetivos del proyecto.

En ese contexto, este trabajo propone un método de evaluación integral, el cual busca obtener una visión completa del riesgo presente en un proyecto de la industria minera basado en el criterio de expertos, asociado a la identificación y análisis de estos eventos, partiendo del estudio concreto de cada actividad perteneciente al proyecto, ofreciendo una agrupación de esta evaluación en la red de actividades del proyecto. Se debe tener en cuenta que esta propuesta busca ser aplicable en proyectos mineros, ya que independiente de cada contexto o tipo de proyecto que se tenga, uno de los ejes fundamentales en la planeación debe ser la evaluación del riesgo.

Para ello, inicialmente se toman en cuenta los diferentes modelos y herramientas matemáticas utilizadas en el estado del arte, para así identificar las características principales, tomando en cuenta las posibles variables y parámetros tenidos en cuenta por los autores para su aplicación, en la gestión del riesgo en proyectos

Entre los principales resultados o aportes que se generan en este trabajo, se presenta una metodología de evaluación que tiene en cuenta el relacionamiento entre actividades y la interacción presente entre los riesgos asignados a cada una de estas, proponiendo una

evaluación que relacione el criterio cualitativo de las diferentes características del riesgo y consolidando esta evaluación en criterios cuantitativos, generando una aplicación práctica con enfoque matemático en la evaluación de la gestión del riesgo en proyectos mineros.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión del riesgo, dentro del desarrollo de cualquier proyecto, se ha convertido en pieza clave para el aseguramiento del logro de los objetivos (Vujović et al., 2020), haciendo énfasis en el valor agregado al realizar el análisis y evaluación de eventos considerados emergentes, los cuales intervienen en el pleno desarrollo del proyecto y los respectivos impactos que puedan generar. Es por esto, que se ha estudiado y hablado durante las últimas décadas sobre su importancia, recomendaciones y aplicaciones.

A partir de la revisión del estado del arte, se muestra la necesidad en hacer énfasis al análisis de los impactos que se generan dada la ocurrencia de estos eventos considerados como riesgo, y así estimar los efectos que se tengan sobre el desempeño de las actividades del proyecto.

Desde la planeación es imperativo, para las partes interesadas o inversionistas, estudiar a profundidad los diferentes tipos de riesgos, los cuales, pueden incidir en el nivel de eficiencia al logro de los objetivos, estos en función del impacto a través de la ocurrencia de estos riesgos (Muñoz & Cuadros, 2017). Dentro del contexto de desarrollo y dinámica del proyecto, se genera cierto nivel de complejidad dentro de la interacción de todos los recursos necesarios para la ejecución de un proyecto, además del medio que lo rodea y el factor humano que desarrollan las diferentes actividades que componen un proyecto (Olsson, 2007).

Dada la naturaleza y estructura de cada proyecto, estos se componen por redes de actividades o rutas de trabajo, las cuales adquieren características (tiempo o costo) (Aliverdi et al., 2013) según los atributos que los componen. Estas rutas, acorde con las actividades que la conforman y su identificación preliminar de riesgos, generan una percepción local del riesgo dentro de la red y a su vez una percepción global del riesgo en el proyecto (Fang & Marle, 2012).

La utilización de distintas metodologías y herramientas para la toma de decisiones, en ciertos momentos puede generar resultados parciales, esto debido a la complejidad misma de los proyectos. Por lo cual se ve la necesidad de plantear una metodología el cual abarque la complejidad de los proyectos contenida en sus redes de tareas integrando el enfoque de la gestión de riesgos, el cual permita generar un proceso de toma de decisiones.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la estructura de un proyecto y la complejidad que existe al generarse las relaciones entre actividades y las redes conformadas por estas y su respectiva identificación de riesgos en la fase de planeación, surge el interrogante de: ¿cómo integrar metodológicamente los factores de riesgo y su variabilidad en la ocurrencia e impacto con la planeación de proyectos facilitando la toma de decisiones bajo un enfoque matemático y de criterio de expertos, logrando los objetivos propuestos en proyectos de minería de minerales?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología para la evaluación del riesgo en proyectos de minería, el cual a través de escenarios permita medir su impacto en costo y tiempo facilitando la toma de decisiones en la etapa de planeación bajo un enfoque matemático y de criterio de expertos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la gestión del riesgo a partir del estudio de la aplicación de metodologías existentes estableciendo el impacto y los criterios de inclusión en la etapa de ejecución de proyectos
2. Identificar las características de riesgo en los proyectos mediante la caracterización realizada, buscando definir los criterios de inclusión del riesgo en la metodología de aplicación a construir dentro de la fase de planeación de proyectos.
3. Caracterizar los modelos matemáticos consultados en el estado del arte asociados a la gestión del riesgo en proyectos, mediante la identificación de factores tales

como variables, parámetros y marcos de referencia, con el fin de establecer el manejo realizado a la gestión del riesgo de manera práctica en la planeación de proyectos.

4. Estructurar la metodología de evaluación de gestión del riesgo, desde la etapa de la planeación, identificando las redes de tareas o actividades consideradas de mayor atención dentro de la evaluación de un proyecto del sector minero de carbón coquizable en Colombia.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La gestión del riesgo se ha contemplado como una herramienta adecuada, importante y oportuna para el logro de los objetivos de cualquier proyecto (Barber, 2005). Dentro de la literatura revisada, se debate la importancia de dotar a la gestión del riesgo en proyectos las herramientas adecuadas. Estas pueden ser diseñadas específicamente para cada tipo de proyecto, considerando su complejidad y tipo de proyectos. (Ingvarson & Hassel, 2023). Todas estas metodologías y herramientas se han trabajado a partir de enfoques, bien sea de carácter cualitativo o cuantitativo, generando conocimiento a partir de experiencias y propuestas en diferentes ámbitos afines a esta gestión, identificando factores que permitan una mejora continua en los procesos de toma de decisiones.

Tomando en cuenta la revisión del estado del arte del problema, se ha planteado propuestas para analizar y aplicar la gestión de riesgo bajo diferentes perspectivas, tales como el planteamiento de metodologías estructuradas para llevar a cabo la gestión del riesgo (Marcelino-Sádaba et al., 2014), y a su vez herramientas cuantitativas como indicadores, modelos probabilísticos, de asignación, entre otras; con el fin de proporcionar información para las tomas de decisiones dentro de la gestión que se esté realizando (Yim et al., 2014)

Es por esto que se propone la necesidad de poder articular dentro de una propuesta estructurada, una metodología que genere un modelo para la toma de decisiones, esto basada en herramientas matemáticas que consideren las distintas variables características de un proyecto, haciendo de la incertidumbre (Perminova et al., 2008) eje fundamental para la gestión del proyecto desde la etapa de planeación, proporcionando una concepción del riesgo a través del impacto por medio de herramientas que permitan mejorar la gestión de

recursos y actividades; todo esto enfatizando que la gestión del riesgo es esencial para alcanzar el éxito de un proyecto.

Dentro del contexto global de la gestión de proyectos, vemos que se afianza la necesidad de generar una estrategia de análisis dentro de la planeación de cualquier proyecto, bien sea buscando identificar todos los niveles de riesgo antes de la ejecución de cualquier tarea y así tener mayormente identificado cualquier situación adversa al logro de los objetivos (Huang et al., 2023).

A su vez, en el caso Colombia, se ve el desarrollo de nuevos proyectos a nivel nacional, esto comúnmente utilizando alianzas entre entes públicos y privados para el desarrollo en la infraestructura de la nación o en proyectos privados los cuales requieren una inversión importante de capital. Teniendo en cuenta el contexto del país y los diferentes factores que enmarca cualquier toma de decisión en inversiones de gran capital, el análisis de la gestión del riesgo dentro de la fase de planeación se ha establecido con mayor fortaleza, haciéndose parte fundamental dentro de los estudios de viabilidad de cada proyecto. (Sastoque et al., 2016)

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

La gestión del riesgo se ha venido trabajando como pieza clave dentro del desarrollo de cualquier proyecto, dado que tiene en cuenta las posibles desviaciones en el logro de sus objetivos y plantea acciones de mejora a partir de una evaluación de ocurrencia de estos (Lehtiranta, 2014). Se caracteriza por ser una fase crítica dentro de la planeación de actividades, dado que existen riesgos potenciales en las diferentes áreas de desarrollo del proyecto, desde el área financiera y el área operacional, hasta riesgos menos tangibles que hacen referencia a factores organizacionales y personales (Becker & Smidt, 2015).

Dado que los proyectos se desarrollan en un entorno complejo y en constante cambio, se presenta la necesidad de identificar eventos potenciales que puedan ocurrir en torno a la incertidumbre, con el fin de garantizar el costo, el tiempo y los objetivos del proyecto (Zhang & Fan, 2014).

La trascendencia dada en las últimas décadas al estudio y al análisis de la ejecución de proyectos conllevó al planteamiento de estrategias capaces de estructurar metodologías de alta eficiencia en el desarrollo de sus tareas y, a su vez, en la búsqueda de sus objetivos (Becker & Smidt, 2015), estas metodologías sugieren estructuras genéricas para la toma de decisiones en la fase de planeación de un proyecto. (Zwikael et al., 2005).

Desde la revisión de la literatura, se proponen diferentes metodologías con la finalidad de orientar un adecuado desarrollo de los proyectos; cada metodología sugiere un determinado marco conceptual, el cual facilita a los gestores herramientas para la toma de decisiones en el campo de la planeación.

A continuación, se presentan las metodologías de gestión del riesgo más empleadas, junto con los elementos comunes presentes en cada una de sus fases.

Metodología	SHAMPU Shape, Harness and Manage Project Uncertainty (Ward & Chapman, 2003)								
Año	Definición								
1997	Consiste en dar forma, aprovechar y gestionar la incertidumbre del proyecto. Se busca "dar forma" a la estrategia del proyecto, lo que implica orientar la incertidumbre del proyecto a nivel estratégico para que el enfoque elegido para la incertidumbre del proyecto sea eficaz y eficiente en un sentido de riesgo eficiente.								
Fases	1. Definir	2. Foco	3. Identificar	4. Estructura	5. Propiedad	6. Estimar	7. Evauar	8. Planificar	9. Gestionar
Detalle	Consolidar la información relevante existente sobre el proyecto a nivel estratégico en una estructura holística e integrada adecuada para la gestión de riesgos. Rellenar las lagunas descubiertas en el proceso de consolidación y resolver las incoherencias.	Determinar el alcance y proporcionar un plan estratégico para el RMP. Planificar el RMP a nivel operativo	Identificar las fuentes de incertidumbre a nivel estratégico en términos de oportunidades y amenazas. Identificar qué podría hacerse al respecto, en términos de respuestas proactivas y reactivas. Identificar las fuentes secundarias de incertidumbre asociadas a las respuestas.	Completar la estructuración de la fase anterior. Probar los supuestos simplificadores. Proporcionar estructuras más complejas o alternativas cuando proceda.	Asignar la responsabilidad financiera y de gestión de los problemas.	Dimensionar la incertidumbre. En fases posteriores, se debe perfeccionar las estimaciones anteriores de la incertidumbre cuando resulte eficaz y eficiente.	Evaluar la dependencia estadística, dependencia no modelada en una estructura casual. Sintetizar los resultados de la fase de estimación utilizando supuestos de dependencia que se ajusten al propósito. Interpretar los resultados en el contexto de todas las fases anteriores. Tomar decisiones sobre respuestas proactivas y reactivas, y sobre el perfeccionamiento y la redefinición de los análisis anteriores, gestionando la naturaleza iterativa del proceso como un aspecto clave de estas tareas.	Preparar planes de acción detallados. Se trata de planes de base, que incorporan respuestas preventivas, y planes de contingencia, que incorporan respuestas reactivas con puntos de activación, listos para su aplicación dentro de los horizontes de acción definidos por los plazos adecuados. Comprometerse con planes de proyecto aptos para la ejecución.	Desarrollar planes de acción para la ejecución de forma continua. Supervisar y controlar, tomar decisiones para perfeccionar o redefinir los planes del proyecto según sea necesario. Hacer frente a las crisis, problemas imprevistos de importancia, y estar preparado para afrontar adecuadamente las catástrofes, crisis que no se controlan.

Tabla 1. Metodología SHAMPU (Ward & Chapman, 2003). Elaboración propia.

La metodología SHAMPU (Shape, Harness, and Manage Project Uncertainty) presentada en la Tabla 1 es un enfoque estructurado para gestionar los riesgos y la incertidumbre en proyectos. Desarrollada por Chris Chapman y Stephen Ward, se centra en tres etapas principales: Shape (Dar forma): Definir claramente el proyecto, sus objetivos y su estructura principal, Harness (Aprovechar): Identificar oportunidades y amenazas, analizando detalladamente los riesgos para desarrollar estrategias de mitigación y aprovechamiento, Manage (Gestionar): Implementar, monitorear y adaptar continuamente las estrategias de gestión de riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

SHAMPU promueve una gestión proactiva y continua del riesgo, siendo particularmente útil en proyectos complejos y de gran escala (Ward & Chapman, 2003).

Metodología	RAMP Risk Analysis and Management of Projects(Institution of Civil Engineers, 2005)						
Año	Definición						
1998	Es un proceso completo y sistemático de identificación, evaluación y gestión de riesgos en proyectos de inversión de capital. Abarca toda la vida de un proyecto, desde el inicio hasta el cierre, y no sólo la fase de construcción.						
Fases	1. Identificar el riesgo	2. Analizar el riesgo	3. Evaluar el riesgo	4. Seleccionar estrategías de manejo	5. Implementar estrategías	6. Monitoreo y revisión	7. Comunicación y documentación
Detalle	La identificación de riesgos se realiza a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, con especial énfasis durante las etapas clave. Algunos riesgos pueden resultar evidentes para el equipo del proyecto (riesgos conocidos), mientras que otros requieren más rigor para ser descubiertos, pero son predecibles.	Una vez identificados los riesgos, se procede a evaluar su probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial. Esto ayuda a clasificar los riesgos en función de su importancia y permite priorizar la atención y los recursos en aquellos riesgos que podrían tener un impacto significativo.	Se priorizan los riesgos según su nivel de importancia y su impacto potencial. Los riesgos de alto impacto y alta probabilidad generalmente se tratan como prioridades más altas, mientras que los riesgos de baja probabilidad y bajo impacto pueden recibir menos atención.	**Mitigación:** Tomar medidas para reducir la probabilidad o el impacto de un riesgo. **Transferencia:** Delegar la responsabilidad del riesgo a otra parte, como un seguro o un contratista externo. **Aceptación:** Decidir que el riesgo es aceptable y no requiere acciones adicionales. **Evitación:** Eliminar actividades o situaciones que puedan dar lugar al riesgo.	En esta etapa, se ejecutan las estrategias seleccionadas para abordar los riesgos. Esto podría implicar implementar medidas de mitigación, adquirir seguros, modificar procesos o cualquier otra acción planificada.	Después de implementar las estrategias, es importante monitorear continuamente la situación para asegurarse de que las medidas tomadas estén funcionando como se esperaba.	A lo largo de todo el proceso, es fundamental mantener una comunicación clara y efectiva sobre los riesgos, las estrategias y las acciones tomadas. Además, se debe mantener una documentación completa de todos los aspectos del proceso RAMP, lo que facilitará la revisión y la mejora continua.

Tabla 2. Metodología RAMP (Institution of Civil Engineers, 2005). Elaboración propia.

La metodología RAMP (Risk Analysis and Management for Projects) presentada en la Tabla 2 es un enfoque estructurado para gestionar riesgos en proyectos. Desarrollada por el Institute of Civil Engineers y el Faculty and Institute of Actuaries en el Reino Unido, se centra en la identificación de riesgos el cual se enfoca en detectar riesgos potenciales que pueden afectar el proyecto, abarcando desde aspectos técnicos y financieros hasta ambientales y legales; en la evaluación de riesgos el cual analiza la probabilidad e impacto de cada riesgo para priorizarlos según su severidad; el desarrollo de estrategias de respuesta enfocado en elaborar planes para mitigar, transferir, evitar o aceptar los riesgos identificados; el monitoreo y control de riesgos implementando un seguimiento continuo para evaluar y ajustar las estrategias de gestión de riesgos; comunicación y documentación manteniendo una comunicación clara con los stakeholders y documentar todas las etapas del proceso de gestión de riesgos.

RAMP es útil en proyectos complejos y de gran escala, mejorando la toma de decisiones y aumentando la probabilidad de éxito del proyecto (Institution of Civil Engineers, 2005).

Metodología	PRAM Project Risk Analysis and Management (Chapman, 1997)				
Año	Definición				
1997	Describe un enfoque sistemático y disciplinado para controlar los riesgos, esta puede ser utilizada para ayudar a asegurar el éxito de los proyectos, minimizando las posibles amenazas y aprovechando las oportunidades.				
Fases	1. Definir	2. Foco	3. Evaluar	4. Planificar	5. Gestionar
Detalle	*1.1 Definición del proyecto* Se define el proyecto a fin garantizar un entendimiento común del mismo y de sus objetivos, respaldados por criterios cuantificables de éxito. *1.2 Definición del enfoque del Proceso de Gestión de Riesgos* Se delimita el alcance del proyecto, elementos a incluir y a excluir, y cómo se relaciona con otros proyectos. Además, se establece una estrategia y un plan general de ejecución para adaptar la gestión de riesgos a las necesidades específicas del proyecto.	Se lleva a cabo la identificación exhaustiva de todos los posibles riesgos que podrían afectar el proyecto. Se consideran tanto los riesgos negativos (amenazas) como los positivos (oportunidades). Se involucra a los interesados relevantes para asegurar una lista completa y detallada de riesgos.	Se analizan los riesgos identificados para estimar su probabilidad de ocurrencia y el impacto que tendrían en el proyecto en caso de materializarse. *Probabilidad:* Se evalúa la posibilidad de que el riesgo se materialice. Esto se puede expresar en términos de porcentaje o una escala cualitativa, como baja, media o alta probabilidad. *Impacto:* Se analiza el efecto que tendría el riesgo en el proyecto si llegara a ocurrir. El impacto puede medirse en términos de costo, tiempo, calidad u otros aspectos relevantes. *3.1 Evaluación del riesgo* En PRAM, se utiliza comúnmente, una matriz de riesgos para visualizar y clasificar los riesgos en función de su probabilidad e impacto. La matriz de riesgos ayuda a identificar los riesgos que tienen mayor probabilidad e impacto significativo, lo que los convierte en los más críticos para el proyecto. Se pueden clasificar los riesgos en categorías, como alta, media y baja exposición al riesgo, o utilizar un código de colores para resaltar la gravedad de cada riesgo.	Se desarrollan planes de respuesta para cada riesgo identificado. Estos planes incluyen acciones preventivas y contingentes para mitigar los efectos negativos de los riesgos o aprovechar las oportunidades. También se asignan responsabilidades para la ejecución de los planes.	Durante la ejecución del proyecto, esta fase se centra en monitorear continuamente los riesgos y su evolución. Se implementan los planes de respuesta y se realizan ajustes según sea necesario para mantener bajo control los riesgos identificados. Se realiza una revisión final de la gestión de riesgos para identificar lecciones aprendidas. Se documentan los resultados y las prácticas efectivas que podrían aplicarse a futuros proyectos. Esta fase contribuye al aprendizaje organizacional y mejora continua del proceso de gestión del riesgo

Tabla 3. Metodología PRAM (Chapman, 1997). Elaboración propia.

La metodología PRAM (Project Risk Analysis and Management) presentada en la Tabla 3 es un enfoque sistemático para gestionar riesgos en proyectos, desarrollado por el Association for Project Management (APM). Los pasos clave de PRAM son la definición de objetivos y alcance, la identificación de riesgos, la evaluación de riesgos, el desarrollo de estrategias de respuesta, la planificación de la gestión de riesgos, el monitoreo y control de riesgos, la comunicación y reporte de riesgos y finalmente la revisión y aprendizaje: Evaluar

PRAM mejora la toma de decisiones y aumenta la probabilidad de éxito del proyecto mediante una gestión de riesgos integral y sistemática (Chapman, 1997).

Metodología	PMBOK Project ManagementBody of Knowledge (Project Management Institute, 2013)				
Año	Definición				
2003	Es una guía detallada desarrollada por el Project Management Institute (PMI) que describe las mejores prácticas y procesos para identificar, analizar, planificar y controlar los riesgos en proyectos. PMBOK es ampliamente utilizado en la gestión de proyectos y proporciona un enfoque sistemático para abordar los riesgos que pueden afectar el éxito de un proyecto.				
Fases	1. Planificar la gestión del riesgo	2. Identificar el riesgo	3. Análisis cuantitativo y cualitativo del riesgo	4. Planificar las respuestas a los riesgos	5. Monitorear y controlar los riesgos
Detalle	Se define la estrategia de cómo realizar las actividades para gestión del riesgo total del proyecto y a su vez integrar esta gestión con las otras actividades dentro del plan de gestión del proyecto y con los procesos de gestión del resto de la organización.	Se lleva a cabo la identificación sistemática de los riesgos que podrían afectar al proyecto. Se involucra a los miembros del equipo, interesados y expertos relevantes para asegurar que se identifiquen todos los riesgos posibles. Los riesgos pueden ser de diversos tipos, incluyendo amenazas y oportunidades.	Se analiza la probabilidad de que cada riesgo ocurra y se evalúa su impacto potencial en los objetivos del proyecto. Los riesgos se clasifican y priorizan según su gravedad, lo que permite enfocar los esfuerzos de gestión en los riesgos más críticos.	Se desarrollan planes para responder a los riesgos identificados. Para los riesgos negativos (amenazas), se establecen acciones preventivas y contingentes para mitigar o evitar los efectos negativos. Para los riesgos positivos (oportunidades), se planifican acciones para aprovecharlos y aumentar las posibilidades de beneficio.	Esta fase se centra en el seguimiento continuo de los riesgos a lo largo del proyecto. Se monitorean los riesgos identificados y se implementan los planes de respuesta según sea necesario. Se realizan ajustes en la estrategia de gestión de riesgos a medida que el proyecto avanza y surgen nuevos riesgos.

Tabla 4. Metodología PMBOK (Project Management Institute, 2013). Elaboración propia.

La metodología PMBOK (Project Management Body of Knowledge) presentado en la Tabla 4 se enfoca en proporcionar un marco integral para la gestión de proyectos, abarcando un amplio espectro de prácticas, herramientas y técnicas que son esenciales para la planificación, ejecución, monitoreo y cierre exitoso de proyectos, esto enmarcado en la estandarización, procesos estructurados, flexibilidad, adaptabilidad y la mejora continua.

En resumen, la metodología PMBOK se enfoca en ofrecer un enfoque estructurado y estandarizado para gestionar proyectos de manera eficiente y efectiva, asegurando la entrega de resultados de alta calidad dentro de los plazos y presupuestos establecidos.

Las metodologías de gestión de riesgos en proyectos presentadas anteriormente se basan en la identificación de los; el cual parte de definir cada una de las actividades involucradas en el proyecto y determinar los posibles riesgos asociados a su realización. Durante todo el proceso de gestión de riesgos, se trabaja con la incertidumbre como eje fundamental para estudiar y comprender los riesgos. Esta incertidumbre se evalúa y se tiene en cuenta en la toma de decisiones para desarrollar estrategias efectivas de respuesta.

El objetivo de esta gestión es abordar los riesgos de manera proactiva y planificada, para minimizar sus efectos negativos y maximizar las oportunidades de éxito del proyecto. A medida que avanza el proyecto, se monitorean y revisan constantemente los riesgos, lo que permite adaptar las estrategias, según sea necesario, para mantener el control y la eficacia en la gestión de riesgos (Project Management Institute, 2013).

Tras esta revisión, se identifica que la metodología propuesta en el PMBOK simplifica las fases de la gestión del riesgo y permite, de manera sencilla, identificar cada uno de los componentes necesarios para establecer una metodología de gestión del riesgo. Mientras que PMBOK ofrece una visión general completa de la gestión de proyectos y sus riesgos, PRAM se concentra más en el análisis exhaustivo de los riesgos.

Uno de los aspectos interesantes que tiene la guía PRAM es que propone una mayor cantidad de técnicas de análisis de riesgos que el PMBOK, así como una mínima información relativa a criterios de selección de dichas técnicas. La guía PRAM ha sido una de las primeras publicaciones de este tipo en considerar que un riesgo puede tener consecuencias positivas y negativas y en proponer, por tanto, la gestión de oportunidades como parte de la Gestión de riesgos del proyecto (Cano Gochl et al., n.d.)

Una característica clave de la estructura del proceso RAMP, es la visión estratégica de los proyectos desde la perspectiva de la modelización financiera; funciona a un nivel más estratégico que PRAM y PMBOK, y se centra más en las cuestiones financieras. (Chapman & Ward, 2003). A su vez, el proceso RAMP tiene características similares a PRAM en su alcance, estructura y manera de ser desarrollado.

En el complejo mundo de la gestión de proyectos, el riesgo es una realidad omnipresente que puede afectar significativamente los resultados finales. Para abordar este desafío de manera más rigurosa y eficiente, han surgido metodologías con enfoque matemático y computacional que permiten analizar los riesgos con mayor precisión y tomar decisiones más informadas. Estas metodologías combinan el poder de los métodos cuantitativos y la computación para identificar y evaluar minuciosamente los riesgos, lo que ofrece a los gestores de proyectos una ventaja estratégica en la planificación y ejecución de sus proyectos.

En este sentido, se presentan algunos de los métodos matemáticos revisados en el estado del arte utilizado para la evaluación del riesgo en proyectos.

2.1.1 Lógica difusa

La lógica difusa destaca dentro de la inteligencia computacional debido a su habilidad para manejar información altamente imprecisa, en contraste con la lógica convencional que se ocupa de datos claramente definidos y precisos. Al ser una lógica multivalente, permite establecer valores intermedios para definir evaluaciones más allá de las típicas dicotomías entre sí/no, verdadero/falso, negro/blanco o caliente/frío. Esto posibilita observar y considerar los matices entre los extremos, así como situaciones que están fuera de los valores intermedios. La lógica difusa se destaca por su flexibilidad y capacidad para abordar situaciones ambiguas y complejas (Hurtado et al., 2014).

En los trabajos que abordan los riesgos de tipo endógeno, se emplea la variable costo como contribución o información inicial para el desarrollo del modelo. El primer paso consiste en utilizar la percepción para definir el riesgo y sus implicaciones en el proyecto. En otras palabras, se establece un criterio cualitativo para evaluar el riesgo específico de cada proyecto.

Para lograr esto, se emplea este método matemático que permite jerarquizar los riesgos identificados preliminarmente (Khodakarami & Abdi, 2014) y, al mismo tiempo, proporciona una evaluación de la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo identificado. Esta herramienta se utiliza con el objetivo de asignar los riesgos a cada parte interesada del proyecto durante su desarrollo (Lam et al., 2007).

Por otro lado, al trabajar con la variable tiempo, también se utiliza como información preliminar en la aplicación de esta herramienta matemática los riesgos que han sido identificados inicialmente. El propósito es evaluar estos riesgos utilizando este método y así obtener una jerarquización de estos dentro del proyecto (Kuo & Lu, 2013).

Es relevante destacar que, este método de lógica se fundamenta en la premisa de la incertidumbre, lo cual permite abordar la variabilidad inherente a cada riesgo tratado en esta metodología.

La lógica difusa ha demostrado su eficacia al definir características importantes de los riesgos en proyectos, como la asignación de riesgos y su correspondiente evaluación de probabilidad de ocurrencia. No obstante, es importante señalar que no aborda explícitamente la evaluación del impacto, ya que su enfoque se centra precisamente en la identificación de riesgos, el proceso de asignación y la evaluación de la probabilidad de ocurrencia. En este sentido, se debe considerar que esta herramienta limita su alcance a la primera etapa de la gestión del riesgo, sin lograr obtener una visión integral del proyecto que incluya tanto la probabilidad de ocurrencia como el impacto de los riesgos a lo largo de las fases de ejecución.

2.1.2 Dinámica de sistemas

La Dinámica de sistemas es una metodología fundamentada en el pensamiento sistémico, que aborda situaciones complejas mediante la consideración de todas las partes de un sistema y las interacciones entre ellas, en contraste con un enfoque que analiza únicamente las partes individuales sin observar sus relaciones (Leo et al., n.d.).

El alcance del proyecto se utiliza como punto de referencia en la aplicación de este modelo matemático, en el cual se toma en cuenta la variable tiempo. Para ello, se consideran los tiempos de duración de cada actividad del proyecto y la red de tareas que lo conforma. A través de una simulación, se busca visualizar posibles desviaciones o discrepancias en la ejecución del proyecto, lo que permitirá obtener la duración total estimada para su ejecución. (Moreno Valbuena & González, 2011).

Dentro del análisis de gestión del riesgo, se emplea esta herramienta matemática considerando las variables costo y desempeño del proyecto desde el nivel de las actividades específicas. Para abordar la variable costo, se utiliza una formulación que determina la curva de aprendizaje en el desarrollo de cada tarea o actividad del proyecto. Esta curva de aprendizaje es luego utilizada en la simulación con dinámica de sistemas para evaluar el impacto potencial y la utilización de recursos en función de las distintas curvas analizadas. Los resultados proporcionan una medición de posibles impactos y una evaluación de la motivación involucrada en el desarrollo de estas actividades (Rueda Velasco et al., 2009).

Desde la perspectiva de la variable desempeño, se busca establecer un modelo de control de proyectos que analice la variabilidad en la utilización de recursos renovables. Utilizando la dinámica de sistemas, se pretende evaluar la dinámica de la ejecución de una actividad y obtener el tiempo estimado de su realización, basándose en el desempeño generado durante la actividad y su utilización de recursos renovables, lo que permite una evaluación integral del riesgo, considerando posibles desviaciones en aspectos como costo y tiempo. (Rueda Velasco et al., 2011).

La aplicación de la dinámica de sistemas permite visualizar y analizar las posibles desviaciones que puedan ocurrir dentro de un proyecto, bien sea en función de variables como costo, tiempo, etcétera. Esta aplicación a su vez permite visualizar una evaluación generalizada del riesgo, en función de los posibles impactos que puedan ocurrir y a su vez permite realizar ciertos ajustes o planes de mitigación para poder tener un eficiente logro de los objetivos, no obstante esta simulación no permite visualizar de manera detallada el comportamiento de los riesgos en cada fase o actividad que lo compone, dado que esta evaluación permite ver un resultado general de estas posibles desviaciones, pero no permite un análisis concreto para cada fase y así poder generar acciones veraces hacia la mitigación de riesgos.

2.1.3 Simulación Monte Carlo

La simulación Monte Carlo es un muestreo experimental cuyo propósito es estimar las distribuciones de las variables de salida que depende de variables probabilísticas de entrada. Se basa en la generación aleatoria de números para realizar múltiples simulaciones y obtener resultados estadísticos (Carbonara et al., 2014).

En el desarrollo de proyectos, las condiciones pueden verse influenciadas tanto por factores internos como externos. Para gestionar el riesgo financiero asociado, se ha propuesto un concepto de medida del riesgo que considera los recursos monetarios requeridos por el proyecto y las condiciones del entorno donde se llevará a cabo. Esta medida del riesgo se calcula a partir del análisis del valor presente neto del proyecto en estudio, así como de variables preliminarmente definidas que representan los riesgos involucrados. Mediante el uso de la simulación Monte Carlo, se pueden determinar los niveles de riesgo en los que el

proyecto puede desenvolverse desde una perspectiva financiera (Caron et al., 2007). Por otro lado, esta herramienta también es utilizada en función de la variable tiempo.

En el artículo consultado, la simulación Monte Carlo se utiliza con el objetivo de definir la duración del proyecto de carácter público-privado de manera que satisfaga las expectativas tanto del gobierno como del sector privado (Carbonara et al., 2014). Sin embargo, se observa una limitación en el enfoque de esta herramienta, ya que solo se abordan los riesgos externos, exógenos, del proyecto, dejando de lado el análisis de los riesgos internos, endógenos. Esto podría limitar la comprensión completa del riesgo en la estructura del proyecto y las implicaciones que puedan surgir a nivel de actividades individuales.

Además, se destaca que la simulación se realiza a nivel general del proyecto, lo que podría dificultar la identificación y el manejo específico de riesgos en cada actividad. Un análisis más detallado, por actividad, permitiría una visión más completa y precisa de los riesgos presentes en cada etapa del proyecto.

2.1.4 Teorema de Bayes

El Teorema de Bayes encuentra aplicación en la gestión de riesgos en proyectos, tanto en el caso de riesgos endógenos como exógenos. En el contexto de riesgos endógenos, se utiliza para definir las probabilidades de ocurrencia de riesgos identificados en una secuencia de actividades del proyecto, lo que permite estimar posibles pérdidas o sobrecostos en caso de que ocurran (Luu et al., 2009). Por otro lado, en el estudio de riesgos exógenos, se emplea para determinar las probabilidades de ocurrencia de riesgos en un entorno económico caracterizado por alta incertidumbre, lo que afecta directamente el desarrollo de las actividades del proyecto (Adams, 2008).

Esta herramienta resulta útil al trabajar secuencialmente las probabilidades de ocurrencia de riesgos según la estructura y secuencia de actividades o eventos en el proyecto. Sin embargo, su utilidad se ve limitada cuando se presentan bucles o frecuencias de ocurrencia de eventos, lo que dificulta su análisis.

2.1.5 Regresión jerárquica

Los modelos lineales jerárquicos (HLM) son una forma compleja de regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) que se utiliza para analizar la varianza en las variables dependientes cuando las variables predictoras o independientes se encuentran en diferentes niveles jerárquicos (Granados, 2019).

Esta herramienta se utiliza en dos de los trabajos de estudio para resaltar la importancia de identificar riesgos significativos que afecten el desarrollo de un proyecto. Se enfoca en el control de riesgos, una parte fundamental en la gestión, debido a su relación directa con las ocurrencias de riesgos. Al aplicar métodos para identificar riesgos sensibles, se busca mejorar el desempeño del control del proyecto (Liu & Wang, 2014).

Además, permite identificar la importancia estratégica de los riesgos y generar una percepción precisa de los mismos. Esto ayuda a establecer puntos de atención que facilitan el monitoreo eficiente de los riesgos y la mitigación de sus impactos cuando ocurren (Liu & Wang, 2015).

El alcance de esta herramienta es estadístico, lo que permite encontrar una función numérica basada en criterios definidos por los gestores para organizar e identificar los eventos de riesgo en función de su probabilidad de ocurrencia o impacto. Sin embargo, esta limitación impide un análisis detallado de las actividades, ya que se centra únicamente en un estudio general de cada riesgo en el proyecto, sin abordar el análisis estructurado en el contexto general del proyecto.

2.1.6 Coeficiente de correlación

Esta herramienta proporciona un análisis de las relaciones entre diferentes conjuntos de información, útiles en la gestión del riesgo, permitiendo examinar varios tipos de riesgos y percepciones relacionadas. En el estudio consultado, se seleccionaron perfiles de poblaciones con el propósito de establecer parámetros similares basados en factores específicos, como dinámicas del mercado, factores ambientales y avances tecnológicos. Se emplea el coeficiente de correlación para calcular las relaciones entre las respuestas de los participantes con respecto a sus percepciones sobre estos factores.

Es importante destacar que este estudio es de naturaleza cualitativa a causa de la naturaleza de la información analizada (de Camprieu et al., 2007). El enfoque es el proyecto en su totalidad, donde la variable de estudio es el costo asociado a la exposición del riesgo del proyecto. Aunque permite un análisis integrado basado en percepciones y evaluaciones de los riesgos durante la gestión, no considera las interacciones entre las actividades y redes de tareas dentro del proyecto. Es por esto por lo que su alcance se limita a la identificación y análisis de riesgos, lo que impide generar un análisis estructurado y detallado y hace que la evaluación sea más general.

2.1.7 Juego de probabilidad FOA

Esta herramienta matemática es utilizada para definir la asignación de riesgo entre dos partes asociadas, en este caso, se trabajan los proyectos con asociación público-privada, los cuales bajo un juego de arbitramiento (FOA) definen la asignación de los riesgos bajo los cuales se trabajará el proyecto. Este trabajo utiliza la variable costo como base para sus estudios, dada la naturaleza analizada de cada parte de esta asociación, se define por parte de un ente de arbitramiento un análisis estadístico de aversión al riesgo, y así define la participación de cada actor asociado al proyecto dentro del análisis de gestión del riesgo en su asignación y participación, en este caso bajo el factor financiero o de costo, dentro del desarrollo de este tipo de proyectos(Medda, 2007).

El alcance de esta aplicación se encuentra en el proceso de asignación de riesgos, es por esto por lo que, no permite ir más allá dentro de la evaluación completa de riesgos de un proyecto, dado que la utilidad radica en la fase inicial de esta gestión del riesgo.

2.1.8 Regresión matemática

La regresión matemática es un método estadístico que se utiliza para analizar la relación entre dos o más variables. Su objetivo es encontrar una ecuación matemática que describa la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes.

Para emplear esta herramienta, se consideran cuatro factores clave para analizar los riesgos preliminarmente identificados: la variabilidad del riesgo, la denominación del riesgo, la claridad del rol del riesgo y su supervisión o control efectivo. A partir de estos factores,

se diseña una ecuación de regresión lineal que predice los efectos de los riesgos en las dimensiones estudiadas, enfocándose en el clima organizacional y las características demográficas de los actores y colaboradores del proyecto. Esta herramienta se centra en el análisis de retrasos en el desarrollo del proyecto, lo que permite obtener una estimación más precisa de su duración (Sharma & Gupta, 2012).

La contribución de esta herramienta radica en proporcionar una evaluación generalizada al analizar la variabilidad de los eventos relacionados con los riesgos en un proyecto. Sin embargo, su limitación es que se enfoca únicamente en la ocurrencia del riesgo, sin ofrecer una cuantificación práctica dentro del desarrollo del proyecto. Esto implica que, aunque se puede obtener una visión más clara de los riesgos presentes, no se profundiza en la magnitud exacta de su impacto durante la ejecución del proyecto. Por lo tanto, es necesario complementar esta herramienta con métodos cuantitativos adicionales para obtener una evaluación más detallada y práctica de los riesgos involucrados en el proyecto.

2.1.9 Metodología del valor agregado EVM

El concepto fundamental detrás de la metodología de valor agregado es que el valor de un producto o servicio aumenta en cada fase del proceso, y este incremento de valor es lo que contribuye al resultado final y al beneficio generado. El objetivo es identificar qué actividades o etapas del proceso contribuyen más al valor total y cuáles tienen un impacto negativo en el valor. La metodología ayuda a los gestores de proyectos a saber si las desviaciones del proyecto respecto a los valores planificados están dentro de las desviaciones "esperadas" derivadas de la variabilidad planificada de la actividad. (Acebes et al., 2014).

Esta herramienta se basa en la medición del desempeño del proyecto, en función de las variables costo y tiempo. En el estudio consultado, se evidencian las métricas trabajadas, las cuales contrastan lo planeado y lo ejecutado dentro del proyecto evaluado(Acebes et al., 2014).

Dentro de la metodología del valor agregado, se incorpora una importante métrica que permite evaluar tanto el alcance del proyecto desde el punto de vista de la planeación, como los resultados obtenidos. Esta metodología, aplicada en el trabajo consultado, es utilizada

en el contexto del proyecto en su conjunto, pero también podría ser empleada para evaluar cada una de las actividades o redes que conforman el proyecto, si así se requiere. Sin embargo, es importante destacar que esta metodología solo permite una evaluación inicial del riesgo, sin incluir un análisis exhaustivo respecto al comportamiento detallado del mismo.

2.1.10 Red de relacionamiento de riesgos

Esta herramienta matemática se fundamenta en el relacionamiento existente entre los diferentes riesgos asociados a una actividad, lo cual hace que cada actividad pueda generar por sí misma riesgos adyacentes. Este trabajo enfatiza en la red de riesgos existente que hay dentro de una misma red de actividades, tomando como base las premisas de frecuencia de ocurrencia de un mismo riesgo y la interacción existente entre las actividades enlazadas dentro de una red que compone un riesgo y los riesgos asociados en esta conformación de red de actividades, evaluando estas interacciones en función del costo y el tiempo (Fang & Marle, 2012).

La valía de esta herramienta, propuesta en el trabajo de estudio, reside en su capacidad para detectar y establecer conexiones entre los riesgos inherentes a una actividad específica. Su enfoque está limitado a la actividad en sí misma y, por ende, no permite una aprehensión completa de los riesgos que afectan al proyecto en su totalidad. Esto se debe a que su alcance es eminentemente particular, dirigido a cada riesgo presente en las diversas actividades que conforman el proyecto, sin reflejar un análisis sistémico en el contexto global del proyecto.

2.1.11 Matriz DSM

La matriz de diseño de estructura es utilizada para definir las interdependencias de los componentes existentes dentro de un ente, específicamente dentro de un proyecto. En el caso del trabajo consultado, los componentes existentes de riesgo para el procedimiento de cambios de requerimientos dentro de un proyecto. Esta matriz interrelaciona sus componentes en función de probabilidad e impacto, tomando en cuenta las variables costo y tiempo, generando escenarios de evaluación, los cuales presentan análisis de factores y

su nivel de relacionamiento entre estos componentes resaltados en la matriz (Fu et al., 2012).

Sin embargo, la utilización de esta herramienta es presente en el análisis de riesgos y no genera una evaluación estructurada del proyecto, estando su alcance en la fase inicial de análisis de riesgos en proyectos y su aplicación no permite una evaluación estructurada del riesgo en la estructura general del proyecto.

2.1.12 Valor del proyecto basado en riesgo RPV

Esta herramienta matemática se basa en la evaluación monetaria del riesgo que existe en la diferencia entre el valor adquirido de la actividad al desarrollarse según lo planeado y el costo en el que se incurre al desarrollar esta actividad. Esta relación entre precio y costo refleja la utilidad que pueda generar cada actividad, en este caso, refleja el riesgo existente al buscar cumplir las actividades trazadas en la planeación (Sato & Hirao, 2013).

La herramienta es propuesta con el fin de generar un presupuesto detallado y acertado que permita la toma de decisiones, sin tener información sobre estimada, referente a los riesgos existentes dentro de un proyecto; sin embargo, no permite realizar un análisis del riesgo en función del tiempo, además de no generar un análisis detallado de este dentro de la estructura del proyecto.

2.1.13 Proceso jerárquico analítico AHP

El proceso se fundamenta en la identificación preliminar de los riesgos presentes en los proyectos, categorizándolos según áreas o factores de riesgo. Este enfoque cualitativo implica evaluar la importancia jerárquica de los riesgos y su potencial impacto, generando así un indicador de riesgo. Este indicador facilita la clasificación de los riesgos, destacando los críticos y aquellos capaces de ejercer una mayor influencia en el proyecto (Zayed et al., 2008).

Este análisis se lleva a cabo de manera específica, centrándose en las actividades que conforman el proyecto. El objetivo es identificar los posibles efectos que los riesgos podrían desencadenar a medida que se desarrollan. No obstante, es importante señalar que, el

alcance planteado en este trabajo restringe el análisis a un enfoque específico para cada riesgo. Esto significa que se realiza un estudio detallado de cada riesgo individual, pero no se brinda una visión holística que abarque la totalidad de los riesgos y su interconexión.

2.1.14 Programación lineal

En el estudio referido, se emplea una herramienta matemática para la evaluación de estrategias de respuesta ante riesgos, considerando las particularidades de cada riesgo identificado. Este modelo de toma de decisiones posibilita la evaluación de múltiples alternativas de respuesta, con el objetivo de minimizar el impacto sobre el proyecto. Esto se logra al ponderar los impactos potenciales en términos de tiempo y costo.

En este contexto, se procede a evaluar la pertinencia de llevar a cabo los planes de respuesta establecidos para los riesgos identificados. Mediante la programación lineal, se analizan los efectos de mitigación y los costos asociados con la ejecución de estos planes. Este enfoque proporciona una visión cuantitativa de la viabilidad y eficacia de implementar las estrategias propuestas (Zhang & Fan, 2014).

Sin embargo, es importante señalar que, esta herramienta se centra en evaluar la eficacia de los planes de respuesta ya formulados y ejecutados en un proyecto, en lugar de realizar una evaluación preliminar de los riesgos en las etapas iniciales de la planificación. Si bien, resulta valiosa para medir la eficiencia de la gestión de riesgos post implementación, carece de utilidad en la fase de análisis y planificación inicial, limitando su aplicabilidad en la toma de decisiones antes del comienzo del proyecto.

2.1.15 Análisis de significancia del riesgo

Para utilizar eficazmente esta herramienta, se inicia con una categorización de los riesgos basada en sus atributos generales. A su vez, se realiza un análisis cualitativo de los colaboradores y partes interesadas en el proyecto, abordando las características inherentes a los riesgos. Este análisis se respalda en un meticuloso estudio estadístico de estos criterios.

Este enfoque implica recolectar datos sobre los riesgos sujetos a análisis. Esto abarca tanto la probabilidad de ocurrencia como el grado de consecuencia o impacto asociado a cada riesgo. El propósito es clasificar los riesgos en función de un puntaje derivado de la relación entre probabilidad e impacto. La cantidad de información recopilada y analizada contribuye a configurar este indicador, el cual se propone en el estudio (Zou et al., 2007)

Cabe señalar que, la aplicación de este análisis se circunscribe exclusivamente al examen cualitativo de estos riesgos en función de criterios intrínsecos al proyecto. No obstante, su alcance no permite forjar una evaluación exhaustiva de los riesgos en el contexto general del proyecto. Además, su aplicabilidad se restringe a formar parte del análisis inicial de riesgos, sin extenderse más allá de esta fase.

2.1.16 Correlación Spearman

La herramienta empleada en la publicación en cuestión presenta una secuencia organizada de pasos, especialmente diseñados para determinar la significancia de los riesgos dentro de un proyecto. Este proceso involucra identificar los riesgos pertinentes, clasificarlos según factores internos y externos que impactan el proyecto, y evaluar las respuestas posibles ante cada riesgo. Mediante este procedimiento, los riesgos de mayor prioridad son resaltados, creando así un espacio informativo propicio para comparar estos factores de riesgo entre diversos proyectos, especialmente aquellos con características similares (El-Sayegh, 2008).

El propósito fundamental es establecer estrategias de respuesta que se ajusten adecuadamente a la gestión de riesgos del proyecto en cuestión. Esto implica aprovechar la experiencia y las lecciones aprendidas de proyectos similares, con el objetivo de optimizar la obtención de resultados coherentes con una sólida gestión del riesgo.

Sin embargo, es importante señalar que esta herramienta se aplica en la fase inicial de análisis de riesgos. Su enfoque se limita a esta etapa y no abarca una evaluación exhaustiva y estructurada de los riesgos a lo largo del proyecto completo. Además, se requiere contar con proyectos comparativos para su implementación efectiva, lo que puede limitar su aplicabilidad en escenarios donde los proyectos de referencia no están disponibles o son insuficientes.

2.1.17 Valor presente neto VPN

Tomando el valor presente neto como indicador de evaluación en el flujo de caja de un proyecto, existe la posibilidad de que la provisión asignada a la gestión del riesgo generadas para cubrir impactos de riesgos probables sea mal estimada, es por esto que, en la investigación citada, se plantean métricas que permitan ajustar estos aprovisionamientos, con el fin de generar la confianza de una adecuada gestión del proyecto, y siendo el flujo de caja el reflejo de los impactos que sucedan al ocurrir los riesgos en función del costo, permite evidenciar la necesidad de generar soluciones en la definición de este tipo de aprovisionamiento (Espinoza, 2014).

No obstante, estas métricas solo van en función de este análisis financiero, y su alcance no permite evidenciar impactos en función del tiempo, a su vez que no permite visualizar el riesgo desde un punto de vista específico, bien sea a una actividad o red de tareas.

2.1.18 Método PERT

El método PERT, Program Evaluation and Review Technique, posibilita la formulación de estimaciones de la duración de los proyectos, basándose en la identificación de la ruta crítica y su correspondiente duración. En el contexto de la investigación mencionada, este enfoque se emplea como cimiento para discernir qué riesgos pueden ser tolerados y cuáles requieren reducción o eliminación, considerando la vitalidad del proyecto. Esta aplicación tiene como propósito calcular el potencial costo derivado de implementar estrategias de respuesta ante estos riesgos, lo que facilita la creación de un presupuesto adecuado para ejecutar planes que aseguren el logro exitoso de los objetivos del proyecto. Esto resulta en un diseño eficiente que amplía el alcance de las metas propuestas en el proyecto (Gładysz et al., 2015).

No obstante, si bien el empleo de este método brinda una evaluación que parte de un análisis particular hacia uno general del riesgo en un proyecto, su aplicación no permite visualizar de manera práctica las relaciones interdependientes entre los riesgos identificados en una actividad específica. En consecuencia, se genera una evaluación preliminar de los riesgos sin contemplar los efectos subyacentes que puedan estar presentes. Adicionalmente, para los gestores, el proceso de caracterización de los

parámetros empleados en esta herramienta puede ser laborioso, lo que se traduce en un análisis de resultados que puede ser demorado y demandante en términos de recursos.

2.1.19 Resumen métodos matemáticos:

A continuación, se relacionará en la Tabla 5 un resumen el cual agrupa los métodos matemáticos aplicados al riesgo en la gestión de proyectos referenciados en el marco teóricos del presente trabajo:

Autores	***Metodología***	***Caracterización***	***Resultados***
(Khodakarami & Abdi, 2014)	Lógica difusa	La lógica difusa permite abordar el riesgo de manera más flexible y realista, teniendo en cuenta la incertidumbre y la ambigüedad presentes en muchas situaciones. Al utilizar conjuntos difusos y reglas de inferencia, se obtienen evaluaciones de riesgo más detalladas y ajustables, lo que facilita una gestión más eficiente y efectiva de las situaciones riesgosas.	Uno de los puntos a considerar, como crítica asociada, es la subjetividad involucrada en la definición de las funciones de pertenencia y los conjuntos difusos, lo que puede llevar a resultados sesgados o poco confiables si no se manejan adecuadamente. A demás de que, no aborda explícitamente la evaluación del impacto, ya que su enfoque se centra precisamente en la identificación de riesgos, el proceso de asignación y la evaluación de la probabilidad de ocurrencia.
(Moreno Valbuena & González, 2011)	Dinámica de sistemas	La dinámica de sistemas es un enfoque de modelado que busca comprender y predecir el comportamiento de sistemas complejos a lo largo del tiempo, considerando las interacciones y retroalimentaciones entre sus componentes.	Una de las principales fortalezas de la Dinámica de sistemas es su enfoque en la variabilidad y la incertidumbre presentes en los proyectos. Permite modelar y simular diferentes escenarios, lo que facilita la visualización de posibles riesgos y su impacto en el resultado final. Sin embargo, la implementación de este enfoque puede requerir conocimientos especializados y recursos adicionales. Además, al ser una aproximación global,

Autores	*Metodología*	*Caracterización*	*Resultados*
			puede no ser adecuada para analizar riesgos específicos en cada fase o actividad del proyecto, lo que podría limitar su precisión en la generación de acciones concretas para mitigar riesgos en etapas críticas.
(Carbonara et al., 2014)	Simulación Monte Carlo	Es una técnica de análisis numérico que se aplica a la gestión de riesgos para evaluar la incertidumbre y la variabilidad asociada a un proyecto o proceso.	La ventaja principal de la simulación de Monte Carlo es que permite tomar en cuenta una amplia gama de posibles valores para las variables de un proyecto y evaluar sus efectos sobre los resultados finales. Sin embargo, su correcta implementación requiere datos precisos, conocimientos especializados y una cuidadosa selección de distribuciones de probabilidad.
(Luu et al., 2009)	Teorema de Bayes	En este contexto, el teorema se emplea para actualizar y revisar las probabilidades de ocurrencia de eventos riesgosos a medida que se disponen de nueva información o evidencia.	El enfoque de Bayes permite integrar información subjetiva y objetiva en el análisis de riesgos, lo que resulta valioso cuando se enfrenta a situaciones con datos limitados o inciertos. su aplicación requiere considerar cuidadosamente la calidad de los datos iniciales y la forma de comunicar los resultados para una toma de decisiones efectiva.

Autores	*Metodología*	*Caracterización*	*Resultados*
(Wang & Liu, 2015)	Regresión jerárquica	El proceso de regresión jerárquica se basa en introducir las variables predictoras en diferentes bloques o etapas, donde cada bloque representa un conjunto de variables que se consideran relevantes para el análisis.	El uso de la regresión jerárquica en la gestión de riesgos es valioso para identificar factores subyacentes que podrían afectar la probabilidad o impacto de los riesgos. Sin embargo, revela una falta de consideración adecuada de factores interdependientes. Por ejemplo, si se evalúa cómo los plazos y la asignación de recursos influyen en los riesgos de un proyecto, la regresión jerárquica señala que ciertas decisiones, aparentemente menores, pueden tener un impacto significativo en el resultado general del proyecto, lo que resalta la necesidad de una planificación más integral y ajustada a la interconexión de factores.
(de Camprieu et al., 2007)	Coeficiente de correlación	Su aplicación busca identificar si existe una asociación entre los riesgos y determinar si cambios en una variable pueden tener un efecto en la otra. A través de esta medida, se intenta cuantificar la dependencia entre factores y comprender cómo ciertos riesgos pueden influir en otros.	Esta herramienta solo mide la relación lineal entre las variables, lo que significa que puede no capturar relaciones complejas o no lineales que puedan existir en un contexto de gestión de riesgos. Además, la correlación no implica causalidad. Es esencial evitar inferir que un riesgo causa directamente otro solo porque están correlacionados. La correlación solo identifica asociaciones, y no se debe tomar como una evidencia definitiva de una relación de causa y efecto entre los riesgos.

Autores	*Metodología*	*Caracterización*	*Resultados*
(Medda, 2007)	Juego de probabilidad FOA	En este juego, los participantes asignan probabilidades subjetivas a eventos o escenarios posibles, expresando sus percepciones sobre la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo. La ventaja, es que permite incorporar el conocimiento y experiencia de los expertos en la toma de decisiones. Además, facilita la identificación de los riesgos más críticos y la asignación de recursos de manera más efectiva para su mitigación.	El alcance de esta aplicación se encuentra en el proceso de asignación de riesgos, es por esto por lo que, no permite ir más allá dentro de la evaluación completa de riesgos de un proyecto, dado que la utilidad radica en la fase inicial de esta gestión del riesgo.
(Sharma & Gupta, 2012)	Regresión matemática	La regresión matemática es un método estadístico que busca establecer una relación matemática entre una variable dependiente (Y) y una o más variables independientes (X) para predecir o modelar valores futuros de la variable dependiente basándose en los valores de las variables independientes.	La regresión matemática permite cuantificar las relaciones entre las variables y proporcionar resultados numéricos y predicciones basadas en datos empíricos. Lo que ayuda a los gestores a tomar decisiones informadas y a realizar proyecciones sobre posibles escenarios de riesgo. No obstante, la precisión de los resultados depende de la representatividad y calidad de los datos utilizados en el análisis. Si los datos son incompletos, sesgados o insuficientes, las predicciones pueden ser poco precisas y confiables.

Autores	*Metodología*	*Caracterización*	*Resultados*
(Acebes et al., 2014)	Metodología del valor agregado EVM	La metodología EVM proporciona información valiosa sobre el rendimiento del proyecto, identificando desviaciones en costos y cronogramas en etapas tempranas, lo que permite a los gerentes de proyecto tomar medidas correctivas a tiempo. Es una herramienta poderosa para la toma de decisiones informadas y la gestión efectiva de proyectos complejos y de largo plazo.	Si durante el análisis de valor agregado se identifica que los costos reales están aumentando más rápido de lo previsto debido a factores de riesgo no gestionados, esto podría indicar un problema grave en la gestión de riesgos del proyecto. Esta discrepancia propone que los riesgos no se abordaron adecuadamente, lo que conlleva a retrasos, sobrecostos u otros problemas significativos en el proyecto.
(Fang & Marle, 2012)	Red de relacionamiento de riesgos	Esta metodología es una herramienta esencial para comprender la red de riesgos que se encuentra en las actividades interconectadas. Al adoptar la frecuencia de ocurrencia como premisa fundamental y al examinar cómo estas actividades interactúan en una red, se logra una visión holística de los riesgos que convergen. Esta perspectiva no solo reconoce la interdependencia de los riesgos, sino que también destaca la influencia mutua entre las actividades que los engloban.	Se ha presentado un modelo de red de riesgos basado en interacciones mediante simulación avanzada. El modelo aborda las limitaciones de los métodos actuales en cuanto a complejidad de modelización en la gestión de riesgos de proyectos. La red de relacionamiento de riesgos tiene la capacidad de revelar que ciertos riesgos, inicialmente considerados de baja importancia, están conectados con otros riesgos más significativos. Lo que conduce a una reevaluación de la prioridad de mitigación, ya que un riesgo aparentemente menor podría exacerbar otros riesgos y tener un impacto más amplio en el proyecto.

Autores	*Metodología*	*Caracterización*	*Resultados*
(Fu et al., 2012)	Matriz DSM	El modelo DSM se emplea para definir las interdependencias entre componentes arquitectónicos. Ha sido utilizado para estimar el riesgo de propagación de cambios en un proyecto de desarrollo de software. Los cambios en los requisitos del software son el principal riesgo de los proyectos de desarrollo de software, que suelen provocar un retraso prolongado en los plazos y los costes.	La matriz DSM es especialmente útil cuando se trata de modelar y comprender las dependencias y relaciones entre componentes, tareas o actividades en un proyecto o sistema. A diferencia de otras representaciones gráficas, como los diagramas de flujo, la matriz DSM enfoca específicamente las relaciones de interconexión y dependencia entre los elementos. Esto la hace especialmente adecuada para situaciones en las que las dependencias son complejas y no pueden ser fácilmente representadas mediante diagramas tradicionales.
(Sato & Hirao, 2013)	Valor del proyecto basado en riesgo	El RPV es una evaluación de proyectos calculada con los flujos de caja y las probabilidades de riesgo de las actividades que constituyen el diagrama de red del proyecto. Existe una solución óptima para el problema de asignación presupuestaria que maximiza el valor esperado del proyecto. Existe una condición en la que los presupuestos adicionales pueden mejorar el valor del proyecto.	El resultado de este estudio sugiere que debería existir un proceso integrado para optimizar el plan presupuestario del proyecto con el plan de gestión de riesgos. La evaluación de la sensibilidad del coste marginal en el RPV sirve de apoyo a las decisiones del gestor del proyecto sobre la reasignación de presupuestos.

Autores	***Metodología***	***Caracterización***	***Resultados***
(Zayed et al., 2008)	Proceso jerárquico analítico AHP	El AHP es un método de toma de decisiones estructurado que descompone problemas complejos en una jerarquía de criterios y alternativas, permitiendo comparaciones ponderadas y la selección de la mejor opción.	Aunque el AHP ofrece un enfoque sistemático para la toma de decisiones, su implementación puede ser desafiante debido a la necesidad de asignar pesos subjetivos y las dificultades para garantizar la coherencia en las comparaciones. A demás, se realiza un estudio detallado de cada riesgo individual, pero no se brinda una visión holística que abarque la totalidad de los riesgos y su interconexión.
(Zhang & Fan, 2014)	Programación lineal	La programación lineal es una técnica matemática que busca optimizar la asignación de recursos limitados para maximizar o minimizar una función objetivo lineal, sujeta a restricciones lineales.	Esta técnica asume la certeza de los datos y las relaciones lineales, lo que podría no ser adecuado para modelar la incertidumbre inherente a los riesgos del proyecto. La programación lineal podría subestimar la complejidad y variabilidad de los riesgos, lo que podría llevar a decisiones inadecuadas si no se consideran las limitaciones del enfoque lineal en la gestión de riesgos. Si bien, resulta valiosa para medir la eficiencia de la gestión de riesgos post implementación, carece de utilidad en la fase de análisis y planificación inicial, limitando su aplicabilidad en la toma de decisiones antes del comienzo del proyecto.

Autores	***Metodología***	***Caracterización***	***Resultados***
(Zou et al., 2007)	Análisis de significancia del riesgo	Es un proceso que evalúa la importancia relativa de los riesgos en función de su impacto potencial y su probabilidad de ocurrencia, permitiendo priorizar la atención en los riesgos más relevantes. Este enfoque implica recolectar datos sobre los riesgos sujetos a análisis. Esto abarca tanto la probabilidad de ocurrencia como el grado de consecuencia o impacto asociado a cada riesgo. El propósito es clasificar los riesgos en función de un puntaje derivado de la relación entre probabilidad e impacto. La cantidad de información recopilada y analizada contribuye a configurar este indicador, el cual se propone en el estudio	Al aplicar el análisis de significancia del riesgo en la gestión de proyectos, se identificó que un riesgo aparentemente bajo en probabilidad, pero con un impacto extremadamente alto podría afectar gravemente el proyecto. Esta revelación llevó a reconsiderar las estrategias de mitigación y a asignar recursos para abordar dicho riesgo aparentemente menos significativo, pero de gran repercusión en el éxito del proyecto. No obstante, su alcance no permite forjar una evaluación exhaustiva de los riesgos en el contexto general del proyecto. Además, su aplicabilidad se restringe a formar parte del análisis inicial de riesgos, sin extenderse más allá de esta fase.

Autores	*Metodología*	*Caracterización*	*Resultados*
(El-Sayegh, 2008)	Correlación Spearman	Es una medida estadística no paramétrica utilizada para evaluar la relación entre dos variables al considerar sus rangos en lugar de sus valores brutos. Mide la dirección y la fuerza de la relación monotónica entre las variables, lo que significa que evalúa si los cambios en una variable están asociados con cambios en la otra variable, aunque no necesariamente de manera lineal.	Brinda una comprensión valiosa de cómo ciertos factores o variables están relacionados con los riesgos. Sin embargo, su enfoque en la relación monotónica no captura completamente las relaciones complejas y no lineales que a menudo están presentes en la gestión de riesgos. Esto podría llevar a una subestimación de las relaciones entre variables y no abordar completamente la naturaleza multifacética de los riesgos en proyectos, lo que podría afectar la toma de decisiones estratégicas. Además, se requiere contar con proyectos comparativos para su implementación efectiva, lo que puede limitar su aplicabilidad en escenarios donde los proyectos de referencia no están disponibles o son insuficientes.
(Espinoza, 2014)	Valor presente neto VPN	Es una técnica financiera que evalúa la rentabilidad de un proyecto al descontar los flujos de efectivo futuros a una tasa de descuento y compararlos con la inversión inicial. Un VPN positivo indica que el proyecto puede generar ganancias después de considerar el valor del dinero en el tiempo.	Una crítica al utilizar el VPN en la gestión de proyectos es que asume que los flujos de efectivo futuros son conocidos y ciertos. En situaciones donde hay incertidumbre y riesgo en las estimaciones de flujos de efectivo, el VPN puede subestimar los posibles impactos negativos y no reflejar adecuadamente los riesgos inherentes.

Autores	*Metodología*	*Caracterización*	*Resultados*
(Gładysz et al., 2015)	Método PERT	Es una técnica de programación utilizada en la gestión de proyectos para estimar la duración probable de actividades y el tiempo total del proyecto, considerando la incertidumbre en las estimaciones.	Aunque PERT considera la incertidumbre en las estimaciones, a menudo se basa en supuestos simplificados sobre la distribución de tiempos y probabilidades. Esto puede llevar a una subestimación de los riesgos reales y a la falta de consideración de factores imprevistos. Adicionalmente, para los gestores, el proceso de caracterización de los parámetros empleados en esta herramienta puede ser laborioso, lo que se traduce en un análisis de resultados que puede ser demorado y demandante en términos de recursos.

Tabla 5. Resumen revisión de métodos matemáticos aplicados al riesgo en la gestión de proyectos. Elaboración propia.

Tras un análisis exhaustivo de la literatura, se distinguen dos enfoques principales en la evaluación del riesgo. El primero, consiste en la evaluación cuantitativa del riesgo donde se contempla todo el proyecto (Acebes et al., 2015) (Vujović et al., 2020), concentrándose en una visión panorámica. El segundo enfoque, por su parte, identifica los riesgos por actividad individual del proyecto Haga clic o pulse aquí para escribir texto.(Zhang & Fan, 2014) Haga clic o pulse aquí para escribir texto.(Sastoque et al., 2016), otorgando especial atención a cada actividad y teniendo un alcance más restringido (Huang et al., 2023).

No obstante, se observa que estos enfoques empleados por los autores no logran fusionar la visión detallada que aporta el análisis a nivel de cada actividad con la visión general del proyecto y su estructura subyacente.

Adicionalmente, los modelos identificados utilizan, en su mayoría, en métodos cualitativos para estimar la probabilidad e impacto del riesgo, ofreciendo escasas vías para combinar

el análisis cualitativo con el cuantitativo en la evaluación del riesgo. Se destaca la ecuación de probabilidad espontánea como ejemplo (Fang & Marle, 2012).

Es crucial hacer hincapié en que, estos métodos no contemplan la incertidumbre inherente a la ejecución del proyecto. Aunque se evalúa el riesgo desde una perspectiva inicial del escenario, no se considera la evolución dinámica del proyecto y su entorno.

Los métodos para evaluar el impacto de los riesgos, presentes en gran parte del estado del arte, proponen métricas con un enfoque local para cada evento, sin abordar una visión holística. Por ejemplo, no consideran la posibilidad de que diversos eventos, distintos de los inicialmente estudiados, puedan influir en la ocurrencia de otros eventos, generando así un análisis parcial del impacto de los riesgos.

El análisis de las consecuencias del riesgo desempeña un papel fundamental al trazar y concebir una perspectiva completa de cómo los riesgos se interrelacionan con la red de actividades en un proyecto (Fang & Marle, 2012).A pesar de esto, es esencial destacar que la envergadura del proyecto no ha permitido visualizar de manera sistemática el riesgo en las distintas sendas que conforman una iniciativa. En este contexto, el método propuesto en este estudio ha logrado abordar esta limitación al presentar una visión ampliada que tiene en cuenta la estructura intrínseca de la red de actividades que constituyen un proyecto.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Riesgo

Es esencial reconocer que el concepto de riesgo abarca una gama de interpretaciones en este contexto. A continuación, se presenta la Tabla 6 la cual sintetiza estas múltiples perspectivas, brindando una visión panorámica de cómo se aborda el riesgo en el ámbito de la gestión de proyectos.

Año	Autores	Definición del Riesgo en Gestión de Proyectos
2001	Project Risk Management Guidelines (Cooper et al., n.d.)	Posibilidad de ocurrencia de eventos que puedan afectar los objetivos del proyecto.
2006	Practical Project Risk Management: The ATOM Methodology (Hillson & Simon, n.d.)	Combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento y su impacto en los objetivos del proyecto.
2007	Managing Project Risk and Uncertainty (Chapman & Ward, n.d.)	Efecto de la incertidumbre en los objetivos del proyecto.
2008	PMBOK (Project Management Institute., 2008)	Evento incierto o condición que, de ocurrir, puede tener un impacto positivo o negativo en los objetivos del proyecto.
2009	Practice Standard for Project Risk Management (Project Management Institute., 2009)	Amenaza u oportunidad que surge de la incertidumbre y que afecta los objetivos del proyecto.
2009	Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (Kerzner & Saladis, 2009)	Posibilidad de que eventos ocurran y afecten los objetivos del proyecto, incluyendo resultados positivos y negativos.
2011	Risk Management and Construction (Flanagan & Norman, n.d.)	Variabilidad en los resultados del proyecto que puede afectar el logro de los objetivos.
2018	Managing Risk in Projects (Hillson, n.d.)	Incertidumbre sobre los objetivos del proyecto y la posibilidad de impactos adversos o beneficiosos.

Tabla 6. Revisión de definiciones referentes al riesgo en el ámbito de la gestión de proyectos. Elaboración propia.

A medida que transcurren los años, las definiciones del riesgo en la gestión de proyectos experimentan una evolución continua. Si bien muchas definiciones conservan aspectos fundamentales como la presencia de incertidumbre y el impacto en los objetivos, emergen diferencias sutiles en la manera en que se expresan. Este fenómeno refleja la transformación de la comprensión del riesgo en un entorno siempre cambiante y subraya cómo diversos autores han ajustado sus definiciones para capturar con mayor precisión las complejidades actuales de la gestión de proyectos.

En este contexto, se observa una diversidad de enfoques que abordan el riesgo desde diversas perspectivas. Estos enfoques varían, considerando elementos como la eventualidad de sucesos inciertos, la influencia de la incertidumbre sobre los objetivos y la variabilidad en los resultados del proyecto. Esta multiplicidad de perspectivas resalta la amplia gama de dimensiones presentes en el concepto de riesgo en el ámbito de la gestión de proyectos, acentuando su intrincada complejidad.

Asimismo, es importante destacar que, varios autores y fuentes enfatizan que el riesgo no se limita exclusivamente a amenazas, sino que también abarca oportunidades. Esta idea se evidencia en definiciones que hacen referencia a la posibilidad de impactos favorables y beneficiosos en los objetivos del proyecto. Esta perspectiva desafía la concepción tradicional del riesgo como un concepto meramente negativo y resalta la relevancia de abordar tanto los posibles inconvenientes como las ventajas potenciales en la gestión de proyectos.

2.2.2 Incertidumbre

La incertidumbre se define comúnmente como una condición de conocimiento incompleto que engendra múltiples resultados posibles, difíciles o incluso imposibles de prever, cuyas probabilidades se estiman de manera no cuantificable. Esta incertidumbre surge de la intrincada naturaleza de los proyectos y la interacción de sus componentes (Machiels et al., 2023).

Al abordar este concepto, se considera la relación entre la información que falta para enfrentar el futuro y la percepción del gestor hacia esta situación. Esto puede implicar aceptar la falta de certeza en cuanto a los eventos futuros o crear escenarios cualitativos basados en el conocimiento y la experiencia para trazar posibilidades a futuro.

A partir de estas concepciones, emergen dos enfoques distintos. En el primero, la subjetividad entra en juego a través de la experiencia, permitiendo a los gestores generar escenarios a pesar de la escasez de información sustancial para la toma de decisiones. Apoyados en su saber empírico, los gestores diseñan y configuran situaciones futuras. El segundo enfoque, en cambio, involucra una aceptación consciente de la carencia de información sobre el porvenir. Reconocen que los eventos pasados carecen de influencia

sobre los eventos futuros, abrazando la inherente incertidumbre del futuro (Sanderson, 2012).

2.2.3 Gobernabilidad

Se define como el conjunto de procesos para la toma y puesta en práctica de decisiones, en un equilibrio entre los intereses y necesidades de todas las partes involucradas (Abednego & Ogunlana, 2006).

Estos procesos se inician con la definición de los objetivos del proyecto, seguidos de la delimitación de los medios para lograrlos y la supervisión de su cumplimiento (Chang, 2015).

Asimismo, implica la habilidad de estructurar y coordinar a los colaboradores, con el propósito de generar los resultados esperados en el proyecto y satisfacer los requisitos de los interesados, aprovechando eficazmente los recursos a su disposición (Sanderson, 2012).

2.2.4 Probabilidad de ocurrencia del riesgo

En el proceso de evaluar y asignar la probabilidad de ocurrencia en un proyecto, se distinguen dos categorías de probabilidad en el marco de la gestión del riesgo: objetiva y subjetiva. La probabilidad objetiva se fundamenta en un conocimiento empírico o previo, y su análisis en gran medida se basa en la estadística (Sanderson, 2012). Esta evaluación se deriva de una meticulosa observación de datos históricos de incidentes, y puede ser elaborada mediante un enfoque analítico robusto que, a menudo, implica el uso de datos estadísticos acumulados a lo largo del tiempo (Adams, 2008).

En contraste, la probabilidad subjetiva se arraiga en la experiencia práctica de los gestores (Sanderson, 2012), dando como resultado una probabilidad cualitativa. En este caso, se apela al conocimiento y la experiencia de los gestores para identificar patrones y describir la probabilidad de que los riesgos se materialicen. La recopilación de datos y la estadística tienden a ser menos influyentes en este enfoque (Adams, 2008).

En la mayoría de los proyectos, la disponibilidad limitada de datos históricos detallados hace que la obtención de probabilidades objetivas sea un desafío (Adams, 2008). En consecuencia, en muchas instancias, es común trabajar con probabilidades subjetivas de riesgo, especialmente cuando los proyectos poseen particularidades que dificultan el acceso a datos históricos pertinentes (Adams, 2008).

2.2.5 Impacto del riesgo

El impacto generado se manifiesta comúnmente a través de la eficiencia o el desempeño del proyecto (Liu & Wang, 2014). Estas manifestaciones se categorizan en dos criterios distintos: impactos positivos y negativos (Sato & Hirao, 2013). Aunque el concepto de impacto a menudo se ha asociado con resultados perjudiciales para el proyecto, es importante resaltar la adopción del término "oportunidad". La razón radica en que la incertidumbre no solo engendra escenarios adversos, sino que también puede generar situaciones que fomentan el desarrollo y la consecución de los objetivos del proyecto (Chapman & Ward, 2004).

Para cuantificar estos impactos, tradicionalmente se han considerado dos parámetros clave: el tiempo y el costo. Estos parámetros se emplean para evaluar el avance y el rendimiento de las diversas actividades que componen el proyecto en su conjunto. De esta manera, se puede precisar los impactos generados o las desviaciones en la ejecución del proyecto (Cheng, 2014). En última instancia, esta cuantificación ofrece una comprensión tangible de cómo el proyecto se desarrolla y cómo los eventos inciertos pueden influir en su trayectoria y resultados.

2.2.6 Carbón metalúrgico

El carbón se origina a partir de una acumulación compacta y estratificada de materia vegetal, pasando por diversos procesos de descomposición y transformación. Estos cambios químicos y físicos son resultado de la acción geológica a lo largo del tiempo. Los componentes primordiales del carbón abarcan el carbono, hidrógeno y oxígeno, además de trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos característicos de la materia inorgánica.

Dentro de la categoría del carbón, se distingue el tipo metalúrgico, que coexiste con otras variantes como las térmicas, antracitas, entre otras.

En el contexto específico, el carbón metalúrgico asume un rol como materia prima o commoditie. Luego de un proceso de destilación llevado a cabo en ausencia de oxígeno, se obtiene coque metalúrgico. Esta sustancia, junto con el mineral de hierro, desempeña una función central en la producción de acero en la industria siderúrgica (Elard F. León D., 2006).

2.2.7 Planeamiento minero

El planeamiento minero es un modelo que determina la empresa para definir la estrategia de extracción o explotación de su negocio minero, teniendo en cuenta variables como las inversiones realizadas, los costos operativos, información general del proyecto, el estudio de rentabilidad y el análisis de riesgo. Esto con el objetivo de identificar, cuantificar y minimizar el riesgo técnico asociado a las decisiones del proyecto derivándose de la incertidumbre técnica.

Para este proceso los modelos se pueden dividir en tres grupos, el modelo tradicional o determinístico, el modelo como una función del dinero y el modelo estocástico. El primero de estos, requiere de la información fundamental del proyecto, compuesta por el modelo geológico, la infraestructura, las finanzas, los escenarios, datos y resultados operativos. Este modelo a su vez se puede categorizar según la fase del proyecto (exploración y evaluación, desarrollo, producción y cierre) o bien por el tipo de minería a ejecutar (Subterránea, Cielo abierto y Combinada) (Branch et al., 2012).

El segundo tipo de modelo se enfoca en un modelo de optimización que maximice el VPN, a partir de la cadena de valor de todo el plan minero, desde la cuantificación de los recursos hasta su comercialización. La principal desventaja de este tipo de modelos es no considerar ningún parámetro asociado al riesgo o la incertidumbre. Por último, el modelo estocástico, este por el contrario es fundamentado a partir de la incertidumbre asociada a variables diferentes como (geológicas, de mercado, de precio, entre otras). Este modelo también tiene como objetivo maximizar el VPN, pero sus restricciones están asociadas a la producción, mina, pilas de almacenamiento y plantas de lavado) (Branch et al., 2012).

2.2.8 Proyecto minero de explotación de carbón metalúrgico

La obtención de recursos minerales, como el carbón metalúrgico, de la naturaleza implica un proceso inicial de identificación de las cantidades de recursos medidos, indicados e inferidos que potencialmente residen en un yacimiento mineral. A partir de esta evaluación, se procede a cuantificar los elementos necesarios para la extracción del material, que engloban obras, instalaciones, maquinaria, mano de obra y servicios requeridos para llevar a cabo la operación (Lavandaio, 2014). Este análisis integral es esencial para determinar la viabilidad económica y obtener un beneficio económico sustancial a partir de la extracción del recurso mineral.

3. HIPÓTESIS

El uso de metodologías y herramientas matemáticas en la evaluación del riesgo en proyectos dentro del marco general de gestión de proyectos en la fase de planeación posibilita a los gestores soportar de una mejor manera la toma de decisiones y así lograr un mayor alcance de los objetivos propuestos en contraste con las metodologías tradicionales mayormente utilizadas.

4. ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance de esta propuesta busca plantear una metodología que propone a partir de un análisis teórico basado en la recopilación realizada en la investigación, una aplicación para la evaluación del riesgo dentro de la etapa de planeación de un proyecto minero de carbón coquizable.

Esta propuesta es una metodología con desarrollo de base teórica probada mediante la adaptación de instancias establecidas dentro del proyecto minero que ya ha sido ejecutado, la principal limitación de este proyecto yace en la comprobación del funcionamiento de la metodología con información real de uno o varios proyectos establecidos, es por esto que se toma como base el proyecto minero OMINCA, ubicado en el municipio de Caparrapí, Cundinamarca, para evaluar los resultados de la metodología propuesta.

Esta metodología busca ser planteada para la aplicación dentro de la gestión de proyectos, inicialmente en proyectos de construcción, desarrollo de software, de producción, mineros y ya en una versión más avanzada del modelo en proyectos de investigación o de negocios.

5. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para alcanzar el objetivo contempla el entendimiento del problema base desde el punto de vista de diferentes autores que emplean herramientas cuantitativas en la gestión del riesgo en proyectos, realizando un estudio de tipo exploratorio que estará basado principalmente en la recolección de fuentes primarias de información referencial, específicamente revistas científicas que tengan reconocimiento en el sector académico internacional.

Esta recolección de información se realizó mediante un análisis sistemático de la literatura con tres enfoques principales, el primero encaminado en una revisión relacionada con la incertidumbre en los proyectos y la necesidad de mejorar los procesos para la toma de decisiones, bien sea en la evaluación para la decisión de la ejecución de una tarea o en las respectiva asignaciones de recursos, entendiendo la concepción del problema desde el punto de vista de los artículos referentes a la temática.

Por otra parte, se realizó un enfoque en la caracterización de las variantes establecidas para la evaluación de riesgos, tomando en cuenta las bases para una acertada evaluación del riesgo. Por último, el tercer enfoque consistió en realizar la descripción del problema de la incertidumbre como eje fundamental en la gestión del riesgo y en la articulación de lo cualitativo con lo cuantitativo para poder generar la propuesta de investigación.

La validación de la metodología se realizó mediante la adaptación de instancias en proyectos del sector de la minería de carbón coquizable en Colombia, comparando la metodología de la identificación de la ruta crítica de los proyectos con la propuesta de este trabajo.

6. CASO DE ESTUDIO: PROYECTO DE MINERÍA DE CARBÓN COQUIZABLE

6.1 INTRODUCCIÓN PROYECTO MINERO SAN CARLOS CAPARRAPÍ, CUNDINAMARCA

El proyecto minero que se tomará como caso de estudio para este trabajo está ubicado en la Vereda San Carlos del municipio de Caparrapí, Cundinamarca. Este proyecto de minería a cielo abierto constituye la producción de carbón de alta calidad, considerado tipo Premium a nivel mundial, lo cual dentro de sus estimaciones de reservas puede generar ingresos por ochenta millones de dólares durante toda su ejecución, siendo de alto interés una adecuada gestión de proyectos para sus inversionistas.

Este proyecto contó con un proceso de planeamiento dividido en distintas fases. Las primeras se enfocaron en el estudio geológico y estructural necesario para llevar a cabo la explotación minera con todos los estándares de seguridad laboral y ambiental requeridos. Estas se adelantaron en un tramo del proyecto contenido en 64 Ha + 5224 m2, equivalente al 15% de la superficie total del proyecto; esto con el objetivo de realizar un proceso de explotación anticipada, que permitiera no solo explotar los recursos mineros encontrados sino, además, determinar la gestión del riesgo necesaria en el futuro del proyecto.

Para la formulación de este proyecto minero se tomaron en cuenta los siguientes análisis:

a) Geológico: Estudios geológicos, topográficos y cartográficos para determinar la cuantificación de recursos explotables existentes, además de determinar la presencia de fallas estructurales a considerar.

b) Minero: Delimitación del área de explotación, registro y análisis de muestras, estudio de mercados, planeamiento minero y viabilidad financiera.

Además de estos estudios, se realizaron caracterizaciones de diferentes variables internas y externas que pueden afectar al proyecto. Estas variables relacionadas con el acceso vial de la ubicación del proyecto, la hidrografía y fisiografía, indispensable para determinar la

viabilidad y el riesgo contenido del proyecto; las características del clima y la vegetación de la zona, necesarias para determinar los factores ambientales de recurrencia en el proyecto; entre otras.

Una vez determinada la viabilidad geológica del proyecto, por medio de modelación apoyada en software y exploración del proyecto minero como se referencia en la Ilustración 1, se concluyó con respecto a los recursos existentes de carbón en esta zona de explotación, la presencia de cuatro (4) mantos de explotación viables de carbón metalúrgico, mostrados en la siguiente imagen. El reconocimiento de estos mantos se realizó a partir de labores mineras anteriores y abandonadas, así como de afloramientos expuestos por medio de excavaciones y trabajos manuales. Otras características superficiales detalladas de los mantos se produjeron durante las actividades de perforación y construcción de apiques.

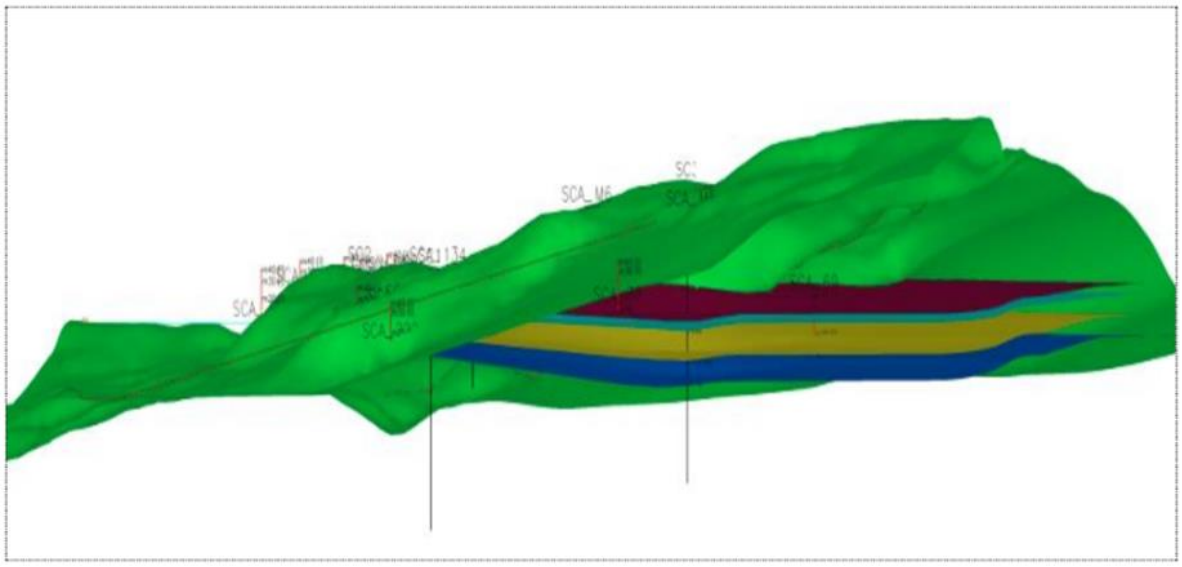


Ilustración 1. Modelación en 3D de mantos de explotación carbonífera Proyecto San Carlos Caparrapí, Cundinamarca

Dentro de la cuantificación de recursos, se estimaron los siguientes volúmenes de acuerdo con el análisis de los cálculos volumétricos y de los mantos potenciales a explotar el cual es presentado en la Tabla 7, para los cuales se tuvieron en cuenta características propias de cada manto como su espesor, densidad del carbón y pureza del material, determinada como se muestra más adelante por el porcentaje de ceniza y azufre presente en el mineral.

Manto	**Toneladas**
Manto 1	337.338
Manto 2	139.661
Manto 3	98.743
Manto 4	28.797
Total	**604.721**

Tabla 7. Cuantificación de recursos en el proyecto minero San Carlos, Caparrapí, Cundinamarca por mantos. Elaboración propia

Cabe aclarar, que esta cuantificación está determinada por las mediciones realizadas en la zona de explotación, sin embargo, en esta industria, se consideran dos medidas adicionales para precisar la cantidad de mineral presente en un área de exploración. “Las reservas básicas indicadas son parte del recurso identificado para el cual su cantidad, calidad y características físicas, están estimadas en un menor grado de confianza”, mientras que “Las reservas básicas inferidas son la parte del recurso identificado de carbón que ha sido determinado a partir de indicaciones y continuidad geológicas supuesta, pero no verificada”. Sin embargo, para este proyecto en particular no se presentaron este tipo de reservas en volúmenes significativos.

Dentro del análisis de calidad presentado en la Tabla 8, se extrajeron dos muestras bajo distinta metodología, que fueron enviadas a laboratorios distintos, con el fin de asegurar los resultados obtenidos, se determinó entonces gracias a los resultados, que el carbón extraído en esta zona se clasifica como bituminoso bajo volátil, ideal para procesos industriales de coquización y fundición, bajo las siguientes composiciones.

Manto	Ceniza %	Materia Volátil (%)	Azufre (S)	BTU/Lb	FSI
Manto 1	2.54	19.62	0.54	15.287	9
Manto 2	5.84	21.30	0.40	15.150	6.5
Manto 3	6.54	19.91	0.60	15.121	8.5
Manto 4	7.0	21.50	0.60	15.050	7.5

Tabla 8. Calidades analizadas por manto de explotación en el proyecto minero San Carlos, Caparrapí, Cundinamarca. Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados de la calidad del mineral encontrado en la zona de explotación, se procedió a realizar los estudios estructurales necesarios para delimitar los taludes y las terrazas, así como sus dimensiones y grados de inclinación. En estos estudios se realizaron, además, pruebas sobre las características mecánicas del macizo rocoso en donde se encuentra el mineral a explotar, con el resultado de estas pruebas es posible establecer el método a utilizar para la extracción del material. “El método de explotación por bancos a distintos niveles – Tajo a cielo abierto” fue el escogido para dicha extracción, este consiste en la conformación de bancos de trabajo ejecutados por módulos operativos.

6.2 ACTIVIDADES GENERALES PROYECTO MINERO SAN CARLOS

Dentro de este proyecto minero, se establecieron distintos frentes de trabajo, los cuales son necesarios para dar viabilidad minero - operacional, administrativo, legal, social, ambiental y comercial para obtener los resultados esperados por los accionistas.

6.2.1 Frente minero - operacional

Este frente se centra en las condiciones operacionales para la ejecución del planeamiento minero, en ese sentido para este proyecto, las actividades están concentradas en la mina (frente de explotación), vía de acceso de acopio (adecuación y mantenimiento) y acopio del carbón (espacio para custodiar inventario y dar despacho final al cliente).

6.2.2 Frente administrativo

Este frente se concentra en toda la gestión del talento humano necesario para la ejecución del proyecto minero, planeación y ejecución de la contratación de servicios como maquinaria amarilla y volquetas y el liderazgo de procesos de gestión tales como seguridad y salud en el trabajo.

6.2.3 Frente legal

Este frente busca dar actualización, seguimiento y control a todos los requerimientos legales necesarios para el funcionamiento de la mina y del patio de acopio de carbón, adicionalmente verificar todos los componentes legales de la contratación de proveedores y de las relaciones comerciales con los clientes.

6.2.4 Frente social

Estas actividades se enmarcan en el plan de Responsabilidad Social y Empresarial que desarrolla el proyecto minero en la zona de influencia de la explotación del carbón, en este caso siendo la vereda San Carlos del municipio de Caparrapí, Cundinamarca. Además, busca en alianza con la alcaldía desarrollar planes para el desarrollo y beneficio de la comunidad.

6.2.5 Frente ambiental

Este conjunto de tareas se enfoca en dar la debida ejecución a todos los controles y regulaciones que debe cumplir y acatar el proyecto minero en la zona de explotación y de acopio de carbón por medio de un Plan Minero Ambiental (PMA). Es importante destacar que este es de los frentes más importantes, debido a que las autoridades ambientales junto

con la comunidad están en constante vigilancia del cumplimiento de los lineamientos ambientales, teniendo en cuenta también que cualquier incumplimiento es suficiente fundamento para el cierre o suspensión de las labores mineras.

6.2.6 Frente comercial

Este frente es el encargado de dar seguimiento al comportamiento del mercado del carbón metalúrgico en Colombia, siendo un producto explotado de alta calidad, su objetivo es reunir información suficiente para generar las negociaciones periódicas con el cliente con el objetivo de concertar el precio de venta del material. Por lo general estas negociaciones se enmarcan en la calidad del producto, volumen periódico a entregar y precio por tonelada a la venta.

6.3 ACTIVIDADES PARTICULARES PROYECTO MINERO SAN CARLOS

A continuación, se presenta en la Tabla 9 las diferentes actividades que son relevantes para la ejecución del proyecto minero de acuerdo con cada uno de los frentes de trabajo. De estas actividades se definirán las redes de actividades y las rutas críticas que componen el proyecto.

Frente	**Sub-área**	**Actividad**	**IDAct.**
1) Ambiental	Mina	Obtener Resolución Licencia Ambiental definitiva CAR	A02
	Mina	Realizar plan de aprovechamiento forestal Las Margaritas	A03
	Acopio	Actualizar y validar PMA Acopio Ruta del Sol	A04
2) Social	General	Retomar plan de RSE	A05
3) Administrativo	Mina	Definir esquema de contratación de maquinaria y equipos minería	A06
	Mina	Contratar personal de ingeniería (Minería y Ambiental)	A07
	Mina	Contratar personal de la región (Tipo de Contrato)	
	Mina	Formulación y verificación de plan de operación	A08
	Mina	Implementar el SG-SST para la operación minera	A09

Frente	Sub-área	Actividad	IDAct.
4) Minero	Acopio	Venta de carbón metalúrgico al cliente en patio de acopio	A20
	Mina	Generar planeamiento minero para explotación del carbón	A01
	Mina	Adecuar zonas de explotación por manto de carbón	A10
	Mina	Descapote de PIT de explotación	A11
	Mina	Adecuación de espacio para botadero de estériles	A12
	Mina	Programación de despachos a patio de acopio	A13
5) Operacional	Acopio	Consolidación de producto en patio de acopio	A19
	Vía	Evaluar y rehabilitar puntos críticos de intervención	A14
	Vía	Instalar señalización	A15
	Acopio	Instalar báscula camionera	
	Acopio	Realizar limpieza y carpet	A16
	Acopio	Adecuar e instalar oficinas, contendores y servicios públicos	A17
	Acopio	Realizar obras ambientales PMA	A18

Tabla 9. Relación de actividades asociadas al proyecto categorizadas por frente de trabajo. Elaboración propia

6.4 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS PROYECTO MINERO SAN CARLOS

Dentro del análisis de riesgos realizado por el equipo de liderazgo del proyecto, se evidenciaron los siguientes riesgos que pueden ocurrir en las distintas actividades enmarcadas dentro del proyecto, este análisis fue realizado por el siguiente equipo de trabajo conformado por:

- Gerente General del Proyecto
- Geólogo
- Ingeniero de Minas (Encargado Planeamiento Minero)
- Jefe de Seguridad y Salud en el trabajo
- Jefe Administrativo
- Jefe Ambiental y Legal
- Jefe RSE

Para la definición de cada uno de los riesgos se tomó en cuenta la experiencia de cada uno de los líderes en diferentes proyectos mineros ejecutados anteriormente y se basó en la Metodología PMBOK (Project Management Institute, 2013). Para cada uno de los riesgos presentados en la Tabla 10 se le asignó un código ID:

RISK ID	NOMBRE DEL RIESGO
R 01	ACCIDENTES LABORALES SST
R 02	ACCIDENTES POR RIESGOS CRÍTICOS
R 03	AFECTACIÓN POR CLIMA
R 04	BLOQUEO SOCIAL
R 05	CIERRE POR AUTORIDAD AMBIENTAL Y/O LEGAL
R 06	DERRUMBAMIENTO DE MASAS DE TIERRA
R 07	DESABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES E INSUMOS
R 08	DESABASTECIMIENTO DE FLUJO ELÉCTRICO
R 09	DESABASTECIMIENTO DE SERVICIOS POR FALLOS MECÁNICOS DE MAQUINARIA AMARILLA O VOLQUETAS
R 10	DESABASTECIMIENTO TOTAL POR PARTE DE PROVEEDORES
R 11	DISMINUCIÓN DE MATERIAL EXPLOTADO EN FRENTE DE EXPLOTACIÓN
R 12	FALLA GEOLÓGICA POR EXPLOTACIÓN MINERA
R 13	PÉRDIDA DE MANO DE OBRA CALIFICADA
R 14	VARIACIÓN EN PARÁMETROS DE CALIDAD DEL MATERIAL EXPLOTADO
R 15	VARIACIONES EN EL MERCADO DE CARBÓN

Tabla 10. Definición de riesgos asociados al proyecto. Elaboración propia

6.4.1 Accidentes laborales SST

Estos riesgos se enfocan en todo peligro que pueda generar accidentes dentro de la ejecución de labores dentro del proyecto minero, bien sea dentro del frente minero o en el patio de acopio. Se fundamentan en toda posibilidad de generar afectaciones a los colaboradores, producto de cualquier evento generado por las mismas labores ejecutadas por las personas.

6.4.2 Accidentes por riesgos críticos

Estos riesgos se enmarcan por todo peligro generado por las labores por causa de los equipos móviles que transitan dentro del proyecto minero, enmarcados dentro de la

maquinaria amarilla o volquetas. Adicional, por toda labor que se realiza en alturas y el riesgo que se genera al no realizar las tareas con las debidas condiciones de seguridad necesarias para el colaborador

6.4.3 Afectación por clima

Este riesgo se enfoca en todo cambio abrupto del clima dentro del proyecto minero, esto enfocado principalmente en épocas invernales donde se puedan generar altas precipitaciones y por consiguiente afectaciones en la infraestructura o suspensiones en las labores mineras.

6.4.4 Bloqueo social

Este riesgo se enfoca en todo descontento o movimiento social que se pueda generar en la zona de afectación del proyecto minero, se debe tener en cuenta que la comunidad es un actor fundamental para el desarrollo de las labores mineras.

6.4.5 Cierre por Autoridad Ambiental y/o Legal

Este riesgo se enfatiza en todo requerimiento que pueda recibir el proyecto enfocado en lineamientos ambientales y legales. Es de aclarar que el proyecto dentro de su gestión busca llevar a cabalidad el cumplimiento de todos los lineamientos enmarcados por las autoridades, sin embargo, existe la probabilidad que por desactualización o mala ejecución de los planes pueda materializarse este riesgo

6.4.6 Derrumbamiento de masas de tierra

Este riesgo se enmarca en todo movimiento de tierras que se pueda generar como consecuencia de las labores mineras, fallas geológicas o un inadecuado planeamiento minero. Este riesgo puede generar afectaciones dentro de los frentes mineros o en zonas aledañas a la mina.

6.4.7 Desabastecimiento de combustibles e insumos

Debido a la ubicación lejana del proyecto minero a los cascos urbanos aledaños, se puede generar un desabastecimiento de combustibles e insumos por dificultades de acceso desde los puntos de suministro de los proveedores.

6.4.8 Desabastecimiento de flujo eléctrico

Debido a la ubicación del proyecto minero y la necesidad de flujo eléctrico para el desarrollo de las labores mineras y en el patio de acopio, existen condiciones tanto geográficas como climático-ambientales que pueden generar cortes parciales o totales del fluido eléctrico por parte del proveedor de energía.

6.4.9 Desabastecimiento servicios por fallos mecánicos de la maquinaria amarilla y volquetas

Las condiciones de terreno y la alta exigencia que se requiere en los equipos de maquinaria amarilla y volquetas pueden generar daños mecánicos parciales en estos, generando retrasos en el desarrollo de las labores mineras.

6.4.10 Desabastecimiento total por parte de proveedores

Dadas las condiciones especiales que se requiere por parte de los equipos o el suministro de combustibles e insumos, existe la posibilidad de que los proveedores en el mediano plazo tomen la decisión de suspender o cancelar los acuerdos comerciales que se tienen con la mina. Cabe aclarar que por la cantidad de recursos que se requiere y la ubicación del proyecto minero, son limitadas las opciones de proveedores especializados necesarios para la ejecución de las actividades en el proyecto.

6.4.11 Disminución del material explotado en frente de explotación

El proyecto minero se basa en los estudios geológicos y el buen trazado del planeamiento minero. Sin embargo, existe la posibilidad de que a medida que se vaya ejecutando el

proyecto, se encuentren desviaciones frente a la geología de la zona minera y por ende incida en la variación del volumen del material obtenido por medio de la explotación.

6.4.12 Falla geológica por explotación minera

Las fallas geológicas son muy frecuentes dentro de las explotaciones mineras, cabe resaltar que esto puede afectar de manera parcial la explotación minera mediante la aparición de intercalaciones de material no carbonífero dentro de los mantos (material ajeno al carbón) o que se encuentre perdidas del manto minero, motivo por el cual se deba ajustar el análisis geológico y minero, así como la planeación de actividades.

6.4.13 Pérdida de mano de obra calificada

La explotación minera requiere de una adecuada gestión del talento humano, por lo cual, dentro del mercado de mano de obra calificada para el sector minero, existe una alta competencia para retener este talento. Hay que destacar que por lo general la metodología de remuneración es por destaje, haciendo que la permanencia de un colaborador sea variable ya que prefieren buscar mejores condiciones salariales en distintos proyectos.

6.4.14 Variación en parámetros de calidad del material explotado

Solo con el desarrollo del proyecto minero y el avance en la explotación se puede tener certeza absoluta de la calidad del producto explotado, ya que, a pesar de todos los análisis geológicos previos, existe la posibilidad de que en realidad el manto a explotar tenga calidades diferentes a las esperadas, además de la volatilidad en los cambios de la calidad del material explotado, pues esta es susceptible a cambios por condiciones adecuadas durante su explotación o almacenamiento.

6.4.15 Variaciones en el mercado de carbón

Las diferentes variaciones en el mercado del carbón metalúrgico pueden poner en riesgo el avance del proyecto general, ya que existe la probabilidad de que haya una disminución en la demanda del producto y por consiguiente de los precios, haciendo insostenible el proyecto en términos financieros.

7. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS EN LA ETAPA DE PLANEACIÓN

7.1 DEFINICIÓN DE LA METOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS EN LA ETAPA DE PLANEACIÓN

La revisión del estado del arte pretende establecer cuál es el modelo a aplicar para el trabajo propuesto, teniendo en cuenta el alcance propuesto a partir de la planeación y ejecución de un proyecto y la complejidad que este conlleva. Teniendo en cuenta que, todo proyecto está dividido en actividades, las cuales pueden estar interrelacionadas entre sí para el cumplimiento de los objetivos, se tomó por consiguiente propuestas presentadas en la Tabla 11 para la articulación y definición del enfoque matemático para este trabajo.

Se evalúan además los métodos de evaluación del impacto de los riesgos asociados, los cuales, en su mayoría, se centran en métricas locales de eventos específicos. Sin embargo, no consideran una perspectiva global que incluya la posibilidad de que ocurran eventos diferentes a los inicialmente estudiados, esto, producto de la interrelación de actividades y sus respectivos riesgos, los cuales podrían tener un impacto directo e indirecto en los objetivos propuestos.

Método matemático	**Autores**	**Enfoque**	**Alcance**
Red de relacionamiento de riesgos	(Fang & Marle, 2012)	Es una herramienta para comprender la red de riesgos que se encuentra en las actividades interconectadas, destaca la influencia mutua entre las actividades que engloba un proyecto	Por medio de las métricas de probabilidad de ocurrencia e impacto define de acuerdo con la interrelación de actividades una caracterización de riesgo

Método matemático	Autores	Enfoque	Alcance
Matriz DSM	(Fu et al., 2012)	Se emplea para definir las interdependencias entre componentes/actividades de un proyecto	Planteamiento base para la definición de interrelaciones entre actividades.

Tabla 11. Métodos matemáticos utilizados para la construcción de la metodología. Elaboración propia

Este enfoque de análisis, se basa en la identificación de los riesgos y como estos interactúan entre sí, esta comprensión junto con la correlación que existe entre las actividades entre las distintas redes de los proyectos nos permite entender con mayor profundidad el nivel de complejidad que tiene cada proyecto. La metodología a partir de un criterio de expertos nos permite de manera cualitativa evaluar el nivel de riesgo que se puede tener en cada actividad, esto a partir de los riesgos presentes y los efectos que se puedan generar al materializar estos riesgos en cada actividad. Colocando esta evaluación por cada actividad, se procede a evaluar el nivel de riesgo que existe en cada red de actividades, los cuales nos permite priorizar el nivel de atención sobre la gestión del proyecto en estas actividades determinadas como con mayor nivel de riesgo.

Aunque (Fang & Marle, 2012) introdujeron esta idea, este proyecto tiene limitaciones en su alcance para examinar de manera detallada los riesgos en las diversas rutas que componen un proyecto. Como resultado, se ha propuesto en este trabajo un enfoque más amplio que considera la estructura de la red de actividades de un proyecto y los diferentes riesgos que interactúan entre estos.

7.2 EXPLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS EN LA ETAPA DE PLANEACIÓN

Teniendo en cuenta la inherente incertidumbre asociada a la gestión de riesgos en proyectos, es indispensable definir un método de evaluación que permita identificar las

características de los riesgos clasificados por red de actividades, de forma que se pueda medir tanto la probabilidad de ocurrencia como el impacto generado, con el fin de identificar las rutas y actividades más vulnerables e importantes bajo el enfoque de gestión del riesgo, basado en lo cualitativo y relacionarlo con la visión cuantitativa del riesgo.

El método propuesto parte de lo particular hacía lo general, conjugando los posibles efectos en el desempeño del proyecto en términos de desviaciones según la planeación inicial con el impacto en los eventos relacionados o incluso en eventos adicionales. Así, la visión global del riesgo dentro del proyecto va a estar enmarcada por un análisis tanto de la evaluación particular de cada actividad como la evaluación de las redes categorizadas.

A continuación, se presenta un flujograma en la Ilustración 2 que describe paso a paso el método de evaluación del riesgo aplicado en proyectos, especificando la actividad a realizar y su estrategia de evaluación en cada una de estas fases.

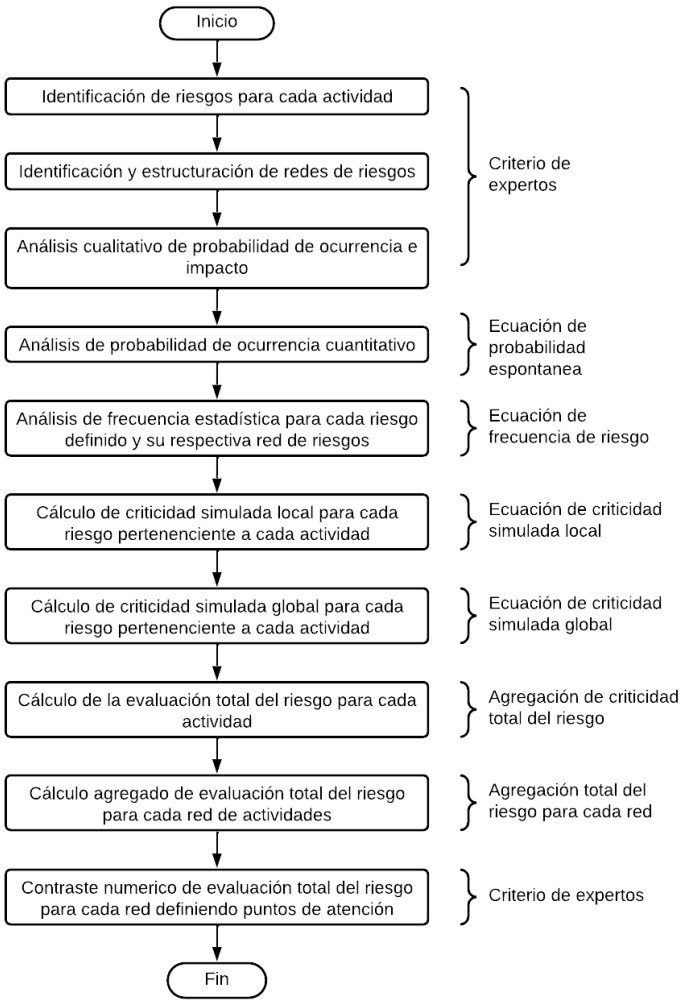


Ilustración 2. Flujograma de método de evaluación del riesgo propuesto fase a fase. Elaboración propia

La identificación de riesgos asociados a las dos primeras fases de esta metodología debe ser específica para cada proyecto e incluso se debe considerar la interpretación del riesgo dentro de cada actividad, pues cada uno tiene una serie de riesgos subyacentes que deben ser definidos de forma rigurosa por los expertos designados, ya que de esto depende la efectividad de la evaluación que se realiza a continuación. La segunda fase por su parte se refiere no solo al enlistamiento de los riesgos identificados sino además a la definición de las interacciones que tiene cada riesgo relacionado con las actividades, así como con otros riesgos, por medio de la generación de una matriz.

Posteriormente se debe realizar el análisis cualitativo de los riesgos donde se establecen los parámetros de probabilidad de ocurrencia e impacto de cada uno. Una vez obtenido el análisis cualitativo se realizan los cálculos necesarios para el análisis cuantitativo de cada actividad, esto utilizando los parámetros mencionados y las ecuaciones que se describirán más adelante.

Teniendo en cuenta que cada actividad tiende a presentar una naturaleza propia por sus recursos asignados y los procesos a desarrollar, el objetivo es agrupar la información que se ha obtenido a partir del análisis cuantitativo local del riesgo, para evaluar la consecuencia global acumulada, como una estructura de riesgos definida y concreta que representa el impacto total en caso de que sucedieran todos los riesgos definidos.

Una vez realizada la evaluación del riesgo es indispensable desarrollar un adecuado proceso de monitoreo y control, teniendo en cuenta que la incertidumbre provee de nueva información a la gestión de riesgos durante cada etapa del proyecto, permitiendo que la evaluación de los riesgos para cada actividad y de forma global sea robusta y acertada.

7.2.1 Evaluación cualitativa del riesgo (Probabilidad e impacto)

La evaluación cualitativa del riesgo se basa en dos parámetros: la probabilidad de ocurrencia e impacto, ya que representan en gran medida el riesgo de manera práctica en un proyecto. Para estimar estos parámetros, se utilizan escalas numéricas que permiten a los gestores del proyecto o expertos estimarlos con base en su criterio. Estas escalas numéricas suelen ir del uno al cinco o del uno al diez, donde el valor mínimo de la escala representa la evaluación más baja según el parámetro estimado, y el valor máximo representa la evaluación más alta.

La parametrización de estas dos características para cada riesgo es difícil, ya que se parte de una percepción y evaluación subjetiva de estas. Por lo tanto, se buscan métodos matemáticos y estadísticos que permitan representar estos criterios. Para este trabajo, se busca utilizar un método funcional que permita a los gestores representar de manera matemática o cuantitativa las percepciones que tienen sobre estos dos ítems y generar métodos prácticos de estimación para estas dos características del riesgo.

7.2.2 Red de riesgos

En el proceso de identificación de riesgos, se realiza el análisis de causa efecto presente en cada riesgo. Debido a esto, los riesgos pueden presentar características de dependencia o independencia, ya que pueden tener relación con otros riesgos o ser independientes de los demás en términos de probabilidad de ocurrencia. Para visualizar los riesgos que tengan dependencia de otros y los que no, se utiliza la herramienta DSM (Matriz de Diseño de Estructura) El DSM permite estructurar dentro del método de evaluación la definición de los riesgos asignados a cada actividad y los riesgos dependientes de estos, si llegase a ocurrir.

La utilización de la DSM permite identificar los riesgos dependientes al riesgo analizado. Esta herramienta es útil para la identificación de los riesgos que pueden afectar el logro de las metas y objetivos de una dependencia o entidad. Además, permite comparar en un solo gráfico la totalidad de los riesgos detectados para una dependencia o actividad.

/	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	-	0	0	1	0	0	0
R2	1	-	0	0	0	0	0
R3	0	0	-	1	0	0	1
R4	1	1	1	-	1	1	0
R5	0	0	1	1	-	0	0
R6	0	1	0	0	1	-	1
R7	1	0	1	0	0	1	-

Ilustración 3. Matriz DSM de asignación de riesgos.

Para visualizar la dependencia que se pueda presentar entre los distintos riesgos y sus eventos consecuentes, es posible graficar como se muestra en la siguiente red de riesgos.

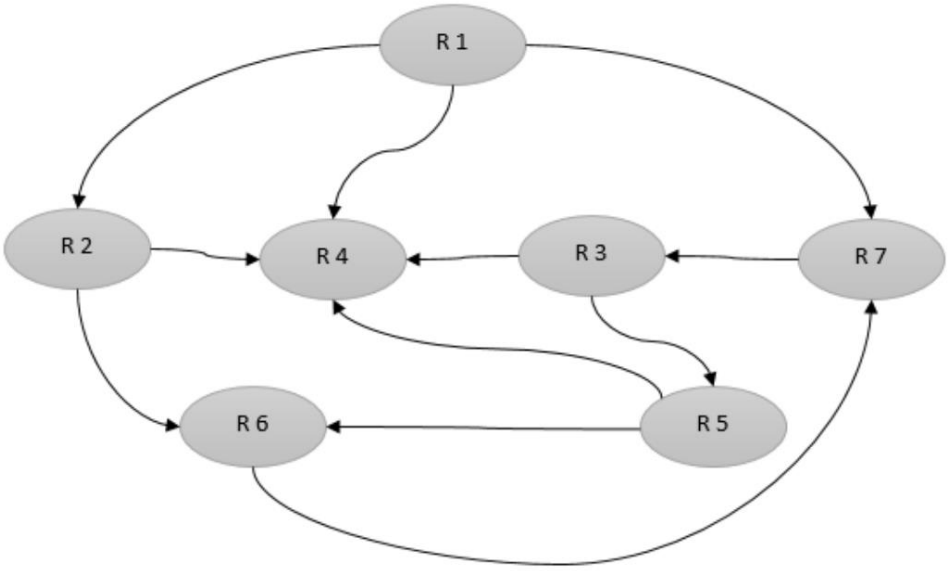


Ilustración 4. Red de riesgos presentes en el análisis inicial.

Cabe resaltar que, para la construcción y estudio de estas redes, cada riesgo no puede ser dependiente de sí mismo, ya que sería redundante generando un bucle dentro de la evaluación matemática, disminuyendo la eficiencia de la evaluación.

Esta red de riesgos también se utiliza para definir la subsecuencia de los riesgos interrelacionados, esto se hace por medio de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo dado que ya se hizo efectivo el riesgo independiente asociado.

7.2.3 Evaluación cuantitativa de ocurrencia e impacto del riesgo desde el punto de vista local

En esta sección se describe la evaluación cuantitativa de ocurrencia e impacto del riesgo desde el punto de vista local. Para esto se utiliza la ecuación de probabilidad el cual se puede interpretar como la probabilidad evaluada de un riesgo, que no es el efecto de ningún otro riesgo activados dentro del sistema. A menudo se utilizan escalas cualitativas como por ejemplo muy probable, probable, poco probable, muy raramente probable; los cuales corresponden a medidas de probabilidad no lineales. Las escalas logarítmicas han sido utilizadas por los estadísticos los cuales nos permiten distribuir las probabilidades de manera desigual, por lo cual se utilizan valores pequeños imponiendo un mapeo logarítmico

reducido. En la práctica, esta ecuación es utilizada para convertir escalas cualitativas en medidas cuantitativas de probabilidad (Fang & Marle, 2012).

La probabilidad espontanea para esta metodología se utiliza para definir la probabilidad de impacto de cada riesgo en términos porcentuales, tanto para el análisis inicial de cada riesgo como para la definición de ocurrencia de cada riesgo dependiente de este, dada su ocurrencia (Fang & Marle, 2012). El valor de s se toma del valor cualitativo de probabilidad evaluada al riesgo, proveniente de las estimaciones cualitativas mencionadas en el numeral 5.1.

La ecuación de probabilidad espontánea se presenta a continuación:

$$Probabilidad\ espontanea = \alpha * 10^{\frac{-\beta}{s}}$$

Donde α es mayor que cero, el cual sea su valor más grande, mayor será el efecto en el aumento del valor de la probabilidad; por otro lado, β es mayor que cero, el cual sea su valor más grande, mayor será el efecto de disminución del valor de la probabilidad, siendo estos dos parámetros de referencia según criterio del gestor del proyecto o de expertos.

7.2.4 Cálculo de la frecuencia estadística del riesgo

En esta sección se describe el cálculo de la frecuencia estadística de riesgo, el cual se utiliza para estimar el valor cuantitativo del impacto de cada riesgo a partir de la frecuencia estadística de este (Fang & Marle, 2012). En la práctica, un riesgo puede ocurrir más de una vez, generando una serie de repeticiones en la ocurrencia de este evento bien sea en la ejecución de una actividad o en toda la ejecución del proyecto, además esta frecuencia estadística se ve afectada por la incidencia que tengan los demás riesgos sobre el mismo. El valor cuantitativo del impacto de cada riesgo se estima inicialmente a partir de la frecuencia estadística de este, utilizando la siguiente fórmula:

$$Frecuencia\ Riesgo\ i = \sum_{k=1}^{m} PE_k * PRS_k$$

Donde $P\mathrm{Ek}$ indica la probabilidad espontanea del riesgo k y PRSk la probabilidad de ocurrencia del riesgo k dado que se hizo efectivo el riesgo i. A partir de este valor, se toma el impacto evaluado cualitativamente y se multiplican, dando el valor de criticidad simulada local de cada riesgo en la actividad, generando la evaluación inicial de cada riesgo.

Además, se evalúa el valor de la consecuencia del riesgo calculado, el cual proviene de la red de riesgos identificada con la matriz DSM (Fang & Marle, 2012). Esta matriz permite identificar los riesgos dependientes al riesgo evaluado y sus probabilidades de ocurrencia, lo que permite calcular la frecuencia de riesgo de cada riesgo dependiente y su correspondiente impacto evaluado. Para obtener el análisis de consecuencia total o global del riesgo, se procede a multiplicar el valor de la consecuencia del riesgo calculado y el valor de la frecuencia calculada de este, y así obtener el valor de la criticidad simulada global para cada riesgo perteneciente a cada actividad.

$$Consecuencia\ del\ riesgo\ calculado = \sum_{i=1}^{n} Frecuencia\ calculada\ del\ riesgo\ dependiente * Impacto\ evaluado\ del\ riesgo\ dependiente$$

7.2.5 Evaluación de la actividad en función del riesgo

Una vez identificadas las métricas de probabilidad de ocurrencia e impacto de cada riesgo, se procede a agrupar esta información para obtener la evaluación total del riesgo en cada actividad. Para ello, se toma el valor de la criticidad simulada local de cada riesgo en la actividad, obtenido a partir de la multiplicación del impacto evaluado y la probabilidad de ocurrencia del riesgo (Fang & Marle, 2012). Luego, se evalúa el valor de la consecuencia del riesgo calculado, el cual proviene de la red de riesgos identificada con la matriz DSM. Esta métrica se obtiene a partir de la sumatoria del cálculo de la frecuencia de riesgo de cada riesgo dependiente y su correspondiente impacto evaluado.

$$Criticidad\ simulada\ global = Consecuencia\ del\ Valor\ calculado * Frecuencia\ estadística$$

A su vez, el valor de la criticidad simulada local de cada riesgo, parte de la multiplicación del impacto cualitativo evaluado y su frecuencia calculada de cada riesgo (Fang & Marle,

2012). Esta métrica evalúa el impacto inicial al ocurrir el riesgo analizado, sin tener en cuenta la ocurrencia de otros eventos como consecuencia de este.

$$Criticidad\ simulada\ local = Impacto\ cualitativo * Frecuencia\ estadística$$

Una vez obtenida la evaluación total del riesgo en cada actividad, se procede a ubicar cada una de ellas dentro de la red a la que pertenece y consolidar la evaluación de cada actividad dada su posición en el proyecto y la red a la que pertenece. Para evaluar cada red componente del proyecto, se realiza la sumatoria de la evaluación total del riesgo de cada actividad perteneciente a esta red. De esta manera, se pueden visualizar los riesgos más representativos dentro del proyecto y en cada red evaluada.

$$Evaluación\ total\ del\ riesgo\ de\ cada\ actividad = \sum_{j}^{m}\sum_{i}^{n} Consecuencia\ simulada\ global + Consecuencia\ simulada\ local$$

Donde i representa cada riesgo evaluado dentro de la actividad analizada y j representa el conjunto de riesgos existentes en la actividad evaluada, permitiendo así obtener una estimación consistente y rigurosa del riesgo existente en la ejecución de cada actividad perteneciente al proyecto.

7.2.6 Evaluación de red de actividades en función del riesgo

Una vez obtenida la evaluación total del riesgo en cada actividad, se procede a ubicar cada una de ellas dentro de la red a la que pertenece y consolidar la evaluación de cada actividad dada su posición en el proyecto y la red a la que pertenece. Luego, se evalúa cada red componente del proyecto realizando la sumatoria de la evaluación total del riesgo de cada actividad perteneciente a esta red. De esta manera, se pueden identificar las actividades con mayor punto de atención en función del riesgo y visualizar los riesgos más representativos dentro del proyecto y en cada red evaluada.

Para calcular la evaluación agregada de la red de actividades, se realiza la sumatoria de la evaluación total del riesgo de todas las actividades pertenecientes a cada red, generando esta métrica para cada una de estas. Este planteamiento de evaluación agregada permite

establecer una trazabilidad en la evaluación del riesgo en la estructura general del proyecto, partiendo del supuesto de agregación del riesgo, dado que la estructura de estas rutas de actividades es definida por características de precedencia entre las actividades que la conforman. La siguiente ecuación muestra el cálculo agregado de la evaluación total de la red de actividades.

$$\sum_{a=1}^{m} Evaluación\ total\ del\ riesgo\ \forall\ \text{red}$$

Esta evaluación por red permite establecer una trazabilidad en el análisis de riesgos en el proyecto, ya que se puede evidenciar cuál es la red con mayor incidencia al riesgo y, a su vez, desarticular esta evaluación en cada una de las actividades componentes de esta red. De esta manera, se pueden determinar fácilmente los eventos que generan un alto nivel de riesgo para todo el proyecto.

Esta herramienta es útil para los gestores del proyecto, ya que les permite obtener una visión estructurada del proyecto en función del riesgo y definir con mayor grado de certeza estrategias en la ejecución del proyecto, bien sea ejecutando acciones de mitigación o de reducción de probabilidad de ocurrencia o impacto de riesgos, o a su vez permitiendo este nivel de riesgo dentro de cada una de las ejecuciones de las actividades del proyecto. Además, esta visualización permite comparar distintos enfoques de evaluación, como por ejemplo la utilización del algoritmo de ruta crítica en proyectos, generando distintas evaluaciones con el fin de obtener mejores soportes para la toma de decisiones dentro de la ejecución del proyecto.

7.3 PERCEPCIÓN DEL RIESGO EN LOS PROYECTOS

La metodología tradicional ha tomado el riesgo desde una percepción generalizada, identificando todos los riesgos posibles y sus posibles impactos mediante distintas herramientas gerenciales de toma de decisiones. Sin embargo, estos análisis no trabajan de manera concreta y detallada el riesgo dentro de las diferentes actividades que componen el proyecto. La evaluación global del riesgo no permite identificar la relación de los riesgos con el trabajo necesario para completar el proyecto, es decir, las actividades, lo que impide

priorizar las actividades acordes con la incidencia de los riesgos sobre las mismas. Por lo tanto, se hace necesario articular estas características dadas por los diferentes autores, haciendo la incertidumbre como eje fundamental para la gestión del proyecto, y así proporcionar una concepción del riesgo a través del impacto, desde lo específico hacia lo general, y así tener una concepción puntual e integral del riesgo. La gestión del riesgo es esencial para alcanzar el éxito de un proyecto, y por lo tanto, es importante que los gestores obtengan una visión estructurada del proyecto en función del riesgo, lo que les permitirá definir con mayor grado de certeza estrategias en la ejecución del proyecto, bien sea ejecutando acciones de mitigación o de reducción de probabilidad de ocurrencia o impacto de riesgos, o a su vez de permitir este nivel de riesgo dentro de cada una de las ejecuciones de las actividades del proyecto. Esta visualización permite comparar, por ejemplo, la utilización del algoritmo de ruta crítica en proyectos, generando distintas evaluaciones con el fin de obtener mejores soportes para la toma de decisiones dentro de la ejecución del proyecto.

8. EVALUACIÓN DEL PROYECTO CASO DE ESTUDIO APLICANDO LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Teniendo en cuenta que la metodología está planteada para realizar el análisis de riesgos de un proyecto, partiendo desde lo particular hacia lo general, todos los pasos que se describieron en la sección 7.2 para el cálculo de la evaluación de criticidad total asociada al riesgo del proyecto se realizaron individualmente por cada actividad y posteriormente se realizó la red de actividades del proyecto en general, de forma que por medio de la identificación de ruta crítica se logró llegar al valor cuantitativo del riesgo para cada ruta del proyecto, identificando cuales son las actividades en las que se deben formular estrategias más rigurosas para la mitigación tanto de la probabilidad de ocurrencia como del impacto de los riesgos.

De esta forma en primer lugar se solicitó al equipo de trabajo del proyecto de minería de carbón coquizable del municipio de Caparrapí, vereda San Carlos, que no solo identificaran los riesgos asociados al proyecto sino además su probabilidad de ocurrencia e impacto con una escala del 1 al 10. Esta labor se realizó para cada una de las actividades propuestas para el estudio y los valores estimados se encuentran en los anexos de cada actividad al final de este documento, pues como se evidenció anteriormente el proyecto desde cada frente debe llevar a cabo diferentes actividades para poder lograr sus objetivos. Se evidenció además durante esta fase del modelo que la probabilidad cualitativa de ocurrencia debe tomar el valor mínimo cuando el riesgo no está asociado directamente a la actividad bien sea por su naturaleza o por su frente de acción, pues de esta forma es posible tener valores controlados en la probabilidad espontanea, ya que de otra forma las actividades se verían afectadas por riesgos no relacionados. Además, para poder tener una referencia se determinaron estos valores de forma cualitativa para el proyecto en general, sin asociarse a ninguna actividad específica y estos son los valores que se obtuvieron los cuales se presentan en la Tabla 12.

RISK ID	PROBABILIDAD ESPONTANEA	PROBABILIDAD CUALITATIVA	IMPACTO CUALITATIVO
R 01	0,500	8	4
R 02	0,126	5	7
R 03	0,646	9	5
R 04	0,050	4	5
R 05	0,000	1	10
R 06	0,050	4	8
R 07	0,050	4	7
R 08	0,126	5	6
R 09	0,050	4	5
R 10	0,011	3	9
R 11	0,792	10	7
R 12	0,001	2	5
R 13	0,126	5	7
R 14	0,360	7	6
R 15	0,126	5	4

Tabla 12. Probabilidad cualitativa e impacto asociado a cada riesgo en el proyecto. Elaboración propia

Por el mismo motivo, teniendo en cuenta que la probabilidad cualitativa nunca puede ser cero ya que se encuentra en el denominador de la probabilidad espontanea, para que esto no afecte el cálculo de las criticidades y en general de la evaluación del riesgo se propone que el impacto de los riesgos no asociados a una actividad sea igual a cero.

Posteriormente se calculó la probabilidad espontanea de cada uno de los riesgos en cada actividad con la ecuación propuesta por esta metodología, utilizando los parámetros α=5 y β=8 que se describieron anteriormente. Los valores obtenidos para el proyecto en general, también se muestran en la tabla anterior. Teniendo ya estos valores, es posible continuar con el paso a paso que se describió en la metodología propuesta, hasta llegar a la frecuencia estadística del riesgo. Los valores obtenidos para la probabilidad espontanean de los riesgos para cada actividad se encuentran relacionados en los anexos al final del documento.

Para este valor es necesario por medio de la matriz DSM y con la colaboración del equipo de expertos del proyecto, definir el valor de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo dependiente, si el independiente ha sido efectivo. De esta forma se establecieron las siguientes subsecuencias principales presentada en la Tabla 13 que se asociaron a la mayoría de las actividades por la relación directa entre los riesgos, dependiendo de la naturaleza de la actividad.

Riesgo independiente	**Riesgo dependiente**	**Evaluación de dependencia**
R 01 Accidentes laborales SST	R 02 Accidentes por riesgos críticos	Un accidente laboral menor puede incidir en un accidente crítico si este tuvo implicados algunos de los elementos descritos como maquinaria y líneas de vida
	R 13 Perdida de mano de obra calificada	Un accidente podría incidir en la incapacidad de uno o más colaboradores
	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	Un accidente puede llevar al inadecuado manejo del material explotado bien sea durante su extracción o su almacenamiento
R 02 Accidentes por riesgos críticos	R 05 Cierre por autoridad ambiental o legal	Un accidente que involucre a varios trabajadores que interpongan una acción legal o que incida en daño irreparable al medio ambiente podría llevar al cierre de las operaciones
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	Un accidente crítico lleva al retraso de las operaciones por disminución del personal o de la maquinaria
	R 13 Perdida de mano de obra calificada	Un accidente podría incidir en la incapacidad de uno o más colaboradores o incluso en la disminución de la confiabilidad de estos en el proyecto
R 03 Afectación por clima	R 02 Accidentes por riesgos críticos	Un clima con alto nivel de humedad podría causar avería en la maquinaria de excavación lo que podría llevar a un accidente por fallo mecánico

Riesgo independiente	**Riesgo dependiente**	**Evaluación de dependencia**
R 04 Bloqueo Social	R 06 Derrumbamiento de masas de tierra	Fuertes precipitaciones combinadas con las operaciones que se realizan para la extracción del material podrían llevar a la inestabilidad en un terreno y causar derrumbamiento
	R 07 Desabastecimiento de combustibles e insumos	Por la ubicación del proyecto es posible que haya disminución del abastecimiento por vías cerradas o incluso por variaciones en la producción de estos insumos
	R 08 Desabastecimiento de flujo eléctrico	Por la ubicación del proyecto es posible que haya disminución del abastecimiento por la inestabilidad del servicio para comunidades apartadas
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	Variaciones significativas de las condiciones climáticas podría disminuir la eficiencia de las operaciones o incluso detenerlas si las condiciones son riesgosas para el personal
	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	Las variaciones climáticas pueden llevar al inadecuado manejo del material explotado bien sea durante su extracción o su almacenamiento
	R 10 Desabastecimiento total por parte de proveedores	Un bloqueo en las principales vías de acceso al proyecto podría provocar que los suministros se queden represados o bien los proveedores opten por no despacharlo para disminuir los riesgos
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	El bloqueo cerca de las instalaciones podría incidir en que el personal o los suministros no pueda ingresar a las instalaciones del proyecto para ejecutar las actividades previstas

Riesgo independiente	**Riesgo dependiente**	**Evaluación de dependencia**
R 05 Cierre por autoridad ambiental o legal	R 04 Bloqueo social	El cierre de la zona de explotación implica el despido masivo de las personas de la comunidad que laboran en el proyecto, las cuales podrían optar por reclamar algún tipo de prebenda
	R 10 Desabastecimiento total por parte de proveedores	Al comunicarse el cierre total de la zona de explotación los proveedores optarían por dirigir sus productos hacía proyectos con mayor confiabilidad
R 06 Derrumbamiento de masas de tierra	R 02 Accidentes por riesgos críticos	Si durante el derrumbamiento se ven implicadas las líneas de vida o la maquinaria y además las consecuencias para alguno de los trabajadores es grave se considera este riesgo
	R 05 Cierre por autoridad ambiental o legal	Si el derrumbamiento incide en afectaciones medioambientales o en por un inadecuado manejo de riesgos laborales y algún trabajador sale afectado, las autoridades correspondientes podrían cerrar la zona de explotación
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	El derrumbamiento incide en la interrupción de las operaciones, además que podría provocar variaciones en los mantos de explotación que disminuyan el producto explotable o la calidad de este
	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	El derrumbamiento podría cambiar las características del material explotable, aumentando las componentes de menor provecho
R 07 Desabastecimiento de combustibles e insumos	R 09 Desabastecimiento servicios por fallos mecánicos Ma. Y volquetas	El desabastecimiento de los diferentes insumos necesarios para el proyecto involucra también el combustible para la maquinaria, por lo cual esta podría fallar e incluso generar un accidente

Riesgo independiente	**Riesgo dependiente**	**Evaluación de dependencia**
R 08 Desabastecimiento de flujo eléctrico	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	Entre los insumos necesarios para el proyecto se encuentran los químicos que permiten verificar las propiedades del material, sin estos se podría contar con material con menores niveles de calidad
	R 01 Accidentes laborales SST	Un corte en la energía eléctrica podría implicar un accidente con la maquinaria o en las zonas administrativas cerca de donde se encuentran los trabajadores
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	La energía eléctrica es indispensable para la continuidad de las operaciones del proyecto, por lo que la falta de esta provocaría la disminución de la eficiencia de las diferentes actividades
	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	Los parámetros de calidad del material se miden por medio de diferentes insumos y utilizando maquinas especializadas que requieren de energía, sin estos estudios no sería posible detectar una variación en la calidad
R 09 Desabastecimiento servicios por fallos mecánicos Ma. Y volquetas	R 02 Accidentes por riesgos críticos	Los accidentes críticos contemplan la maquinaria pesada y las actividades de mayor riesgo, una falta en algún insumo necesario podría incurrir en un accidente de este tipo
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	La falta de maquinaria pesada y volquetas disminuye no solamente el ritmo al que se explota el material sino además la eficiencia durante las actividades de almacenamiento y despacho
	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	La maquinaria es necesaria para dar un adecuado manejo al material explotado, sin este las características de calidad disminuyen considerablemente.

Riesgo independiente	**Riesgo dependiente**	**Evaluación de dependencia**
R 10 Desabastecimiento total por parte de proveedores	R 04 Bloqueo social	Un desabastecimiento total provocaría una disminución en las operaciones, y al disminuir los beneficios del proyecto las comunidades cercanas protestarían por la falta de estos
	R 07 Desabastecimiento de combustibles e insumos	La decisión de dejar de proveer de los productos y servicios necesarios incluye los insumos y combustibles que se requieren para llevar a cabo las operaciones
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	Si los acuerdos comerciales con los proveedores se rompen las operaciones deben detenerse por tiempo indefinido ya que las condiciones del proyecto requieren de proveedores especializados.
	R 13 Perdida de mano de obra calificada	La disminución de productividad en las operaciones mineras y las condiciones desfavorables podrían incidir en un alto nivel de rotación del personal.
	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	El desabastecimiento también considera aquellos productos necesarios para evaluar la calidad del producto, además de los necesarios para conservar dicha calidad
R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	R 04 Bloqueo social	La disminución en la productividad del proyecto podría afectar a las comunidades vecinas quien tomarían acción con el objetivo de que se escuchen sus reclamos
	R 13 Perdida de mano de obra calificada	Teniendo en cuenta que los ingresos de la mano de obra de este tipo de proyectos son variables, ellos podrían optar por proyectos más beneficiosos si hay una disminución en el destaje

Riesgo independiente	**Riesgo dependiente**	**Evaluación de dependencia**
R 12 Falla geológica explotación minera	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	Al disminuir la cantidad de material explotado, es posible que se opte por aumentar el porcentaje de impurezas presentes disminuyendo su calidad
	R 04 Bloqueo social	Una falla geológica podría afectar a las viviendas cercanas al proyecto causando grietas o deslizamientos de tierra por lo que estos podrían protestar procurando su seguridad
	R 06 Derrumbamiento de masas de tierra	Al presentarse una falla geológica es posible que durante las actividades de excavación esta genere accidentes topográficos o deslizamientos
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	Al encontrar una falla durante la excavación se detendrían las operaciones, o bien es posible que se deba replantear el planteamiento minero para resguardar la seguridad de todos
R 13 Perdida de mano de obra calificada	R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	Una falla podría incidir en cambios en las propiedades evaluada inicialmente del material si no fue contemplada durante la etapa de planeación
	R 10 Desabastecimiento total por parte de proveedores	A causa de la falta de mano de obra calificada los proveedores podrían optar por prestar sus servicios a otros proyectos, además de la necesidad de estos para la correcta ejecución de las actividades
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	Sin mano de obra que tenga claridad sobre las decisiones que se deben tomar para llevar a cabo con eficiencia las actividades es posible que en una eventualidad se deba detener el proyecto

Riesgo independiente	**Riesgo dependiente**	**Evaluación de dependencia**
R 14 Variación en parámetros de calidad del material explotado	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	Al encontrar variaciones en los parámetros de calidad es posible que se deban disminuir las explotaciones pues su valor en el mercado podría ser menor y dejar de ser rentable el proyecto
R 15 Variaciones mercado carbón	R 04 Bloqueo social	Las variaciones en el mercado inciden directamente en los beneficios económicos del material por lo cual los beneficios de las comunidades podrían verse afectados y estas reaccionar
	R 07 Desabastecimiento de combustibles e insumos	Una disminución en la comercialización del carbón podría llevar a los proveedores a cortar las relaciones comerciales para favorecer a los mercados en auge
	R 10 Desabastecimiento total por parte de proveedores	Los proveedores suelen responder ante las variaciones del mercado pues ellos procuran aquellos acuerdos comerciales más estables.
	R 11 Disminución de material explotado en frente de explotación	Con la variación del mercado del carbón los resultados del proyecto podrían ser negativos por lo que sería más rentable detener las operaciones de explotación
	R 13 Perdida de mano de obra calificada	Una variación en el mercado podría llevar a la mano de obra a optar por actividades con mayor rentabilidad

Tabla 13. Descripción de las subsecuencias de los riesgos asociados al proyecto. Elaboración propia

Teniendo en cuenta esta descripción de las diferentes subsecuencias que se puede dar entre los riesgos, se estableció la siguiente matriz de probabilidad de ocurrencia de un riesgo dado que se hizo efectivo el independiente presentada en la Tabla 14. Cabe aclarar que esta es la matriz referencia para la definición de las probabilidades de los riesgos asociados a cada actividad, por lo que esta evidencia solo la probabilidad general de subsecuencia. Esta misma matriz asociada a cada una de las actividades se encuentra en los anexos del trabajo.

		Riesgos independientes														
		R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
Riesgos Subsecuentes	R 01	1	0,97	0,72	0	0	0,92	0	0	0	0	0	0,66	0,24	0	0
	R 02	0,68	1	0,74	0	0	0,94	0	0	0,33	0	0	0,59	0,16	0	0
	R 03	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R 04	0	0	0	1	0,71	0,59	0	0,36	0	0,22	0,16	0,49	0	0	0,52
	R 05	0,3	0,33	0,25	0,38	1	0,44	0	0	0	0,17	0,28	0,45	0,26	0,45	0,38
	R 06	0	0	0,63	0	0	1	0	0	0	0	0	0,84	0	0	0
	R 07	0	0	0,58	0,57	0	0	1	0	0	0,72	0	0	0	0	0,55
	R 08	0	0	0,66	0	0	0	0,58	1	0	0,77	0	0	0	0	0,32
	R 09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,65	0	0	0,63	0	0
	R 10	0	0	0,4	0,41	0,67	0	0,42	0	0	1	0	0	0	0	0,29
	R 11	0,62	0,66	0,74	0,83	0,94	0,86	0,72	0,61	0,77	0,98	1	0,81	0,64	0,41	0,73
	R 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	R 13	0,45	0,48	0	0,55	0,83	0,63	0,26	0,37	0,28	0,71	0,56	0,27	1	0,22	0,85
	R 14	0,53	0,62	0,69	0,31	0,7	0,66	0,45	0,24	0,2	0,26	0,83	0,25	0,55	1	0,39
	R 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla 14. Definición de la probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes. Elaboración propia

Una vez definida la frecuencia estadística del riesgo es posible calcular la consecuencia de cada riesgo para una actividad determinada, esta se calcula por medio del impacto cualitativo evaluado por los expertos, la frecuencia estadística mencionada y los valores de la matriz DSM. Con este es posible evidenciar cuales de las actividades pertenecientes al proyecto se ven directa o indirectamente afectadas si alguno de los riesgos listados se hace efectivo. A continuación, se debe llegar al resultado de la criticidad tanto local como global de cada riesgo en una actividad, y es con estos valores que se realiza la evaluación de la criticidad total asociada a los riesgos de cada actividad, valor que se lleva a la red de riesgos para continuar con el proceso. Estos cálculos también se encuentran formulados en los anexos del documento.

Una vez obtenido el valor de la evaluación y definida la red de actividades según la secuencia que se deba llevar a cabo, se define por medio del método de ruta crítica cuales son las actividades que se deben controlar con mayor rigurosidad dada su evaluación y el impacto que tendría que se hicieran efectivos los diferentes riesgos asociados a estas, el cual se presenta en la Ilustración 5.

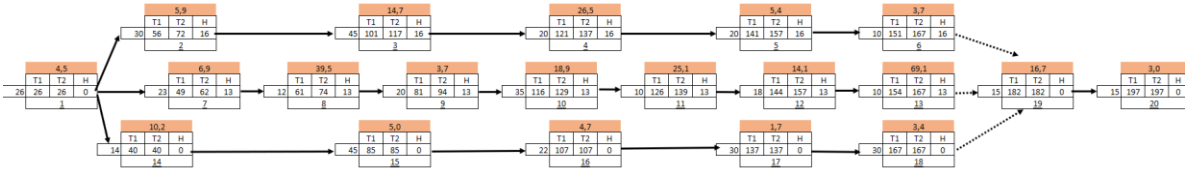


Ilustración 5. Red de riesgos presentes en la evaluación final de la criticidad total asociada a los riesgos. Elaboración propia.

En la ilustración 5 se evidencia que es la actividad número 13 la que cuenta con una criticidad total más alta, además de esto se muestra que múltiples actividades de la segunda ruta cuentan con valores de criticidad por encima de 15 lo cual queda ratificado con la criticidad de cada ruta, para la ruta número 1 se obtiene una criticidad asociada a los riesgos de 80,44; la criticidad total de la ruta 2 es de 201,5 y por último la ruta 3 tiene un valor de criticidad de 44,78. Por lo que en concordancia con lo anterior la ruta de actividades número 2 debe contar con un control más riguroso.

9. VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO EN PROYECTOS

El proyecto de minería de carbón coquizable del municipio de Caparrapí, Cundinamarca fue llevado a cabo utilizando la planeación tradicional, dicha planeación se lleva a cabo a partir de la definición de tiempos estandarizados para cada actividad, estos tiempos son propuestos por los expertos del proyecto quienes según su experiencia en el campo, y teniendo información adjunta de los estudios geológicos, económicos y sociales que se realizaron previamente, describen la ruta de actividades que se debe llevar a cabo teniendo en cuenta la secuencia necesaria para poder realizar con éxito el proyecto. Dicha red considera los tiempos de ejecución de cada actividad determinados en días hábiles de trabajo y por medio del método PERT se identifica la holgura de cada una para determinar cuál es la ruta crítica a la que se debe dar prioridad en términos de gestión y control, teniendo en cuenta que este método prioriza solamente uno de los tres factores determinantes de impacto, en este caso el tiempo. Tomando estos tiempos y la ruta propuesta por los expertos se llegó a la siguiente ruta crítica presentada en la Ilustración 6, la ruta de actividades número tres.

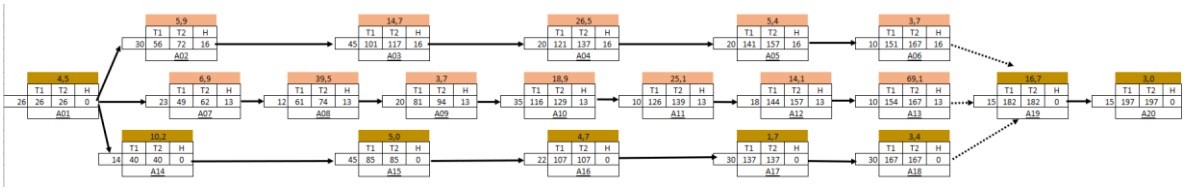


Ilustración 6. Red de actividades inicial, ruta crítica según tiempos por actividad.

La Ilustración 7 ilustra los tiempos propuestos por los expertos para la ejecución de las actividades del proyecto por medio de un diagrama de Gantt, es más evidente cual es la ruta crítica dados estos tiempos y considerando este como el único recurso a controlar.

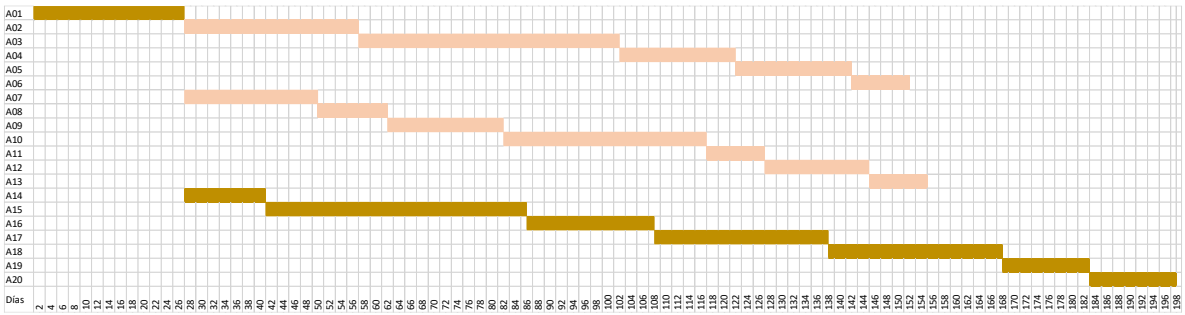


Ilustración 7. Diagrama de Gantt con tiempos propuestos iniciales. Elaboración propia.

Según esta red de actividades se evidencia que la ruta crítica número 3 es la que cuenta con una menor holgura en sus tiempos de ejecución. A esta ruta pertenecen las actividades asociadas a las obras civiles, instalación y adecuación de múltiples espacios necesarios para llevar a cabo las diferentes operaciones. Si bien estas actividades requieren de periodos de tiempo más prolongados para su culminación; su ejecución y control no debe ser tan rigurosa en términos de costos y calidad, pues no son esenciales para el objetivo principal del proyecto. Sin embargo, y basados en los resultados del método PERT fue esta ruta a la que los líderes del proyecto decidieron darle mayor control y seguimiento con el objetivo de llevar a término el proyecto de explotación dentro de los tiempos establecidos procurando minimizar la variación en estos. Pues las rutas 1 y 2 del proyecto contaban con una holgura de 16 y 13 días hábiles respectivamente, por lo que algún retraso en las actividades de estas rutas no generaría mayor variación en el plazo de término del proyecto.

Una vez se ejecutó el proyecto y con el objetivo de evaluar la veracidad de esta metodología se realizó nuevamente la red de actividades del proyecto y se modificaron los tiempos de ejecución de cada actividad para evaluar la precisión de los tiempos que se habían propuesto inicialmente, esto representado en la Ilustración 8.

De la misma forma, revisar minuciosamente los riesgos que se hicieron efectivos y como estos afectaron a las diferentes actividades para evidenciar cuales fueron los tiempos de ejecución reales y como algún tipo de variación en el plazo de término del proyecto hubiera podido preverse y mitigar su impacto.

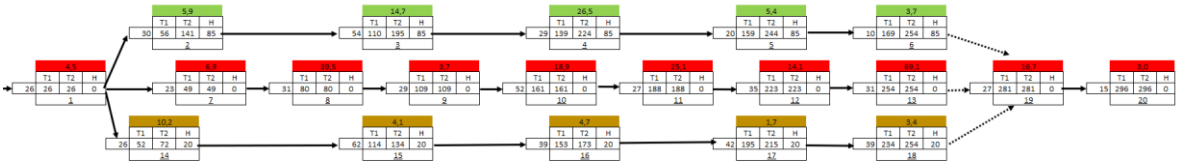


Ilustración 8. Red de actividades final, ruta crítica por metodología de gestión de riesgos. Elaboración propia.

Esta fue la red de actividades que se obtuvo finalmente con los tiempos reales de ejecución. En esta es posible demostrar que como lo había establecido la metodología, la ruta crítica de riesgo es la numero 2, la cual tuvo una variación en sus tiempos de ejecución de las actividades de 87 días hábiles, sin considerar los 12 días adicionales que se llevó la actividad A19 también por causa de los riesgos efectivos. Si bien las actividades de las otras rutas también tuvieron variaciones en sus tiempos de ejecución, la ruta número 2 al contar con una criticidad total asociada al riesgo más elevada fue la que aumentó significativamente el tiempo total de realización del proyecto. Esto también es posible evidenciarlo en el diagrama de Gantt en la Ilustración 9 propuesto para los tiempos reales del proyecto.

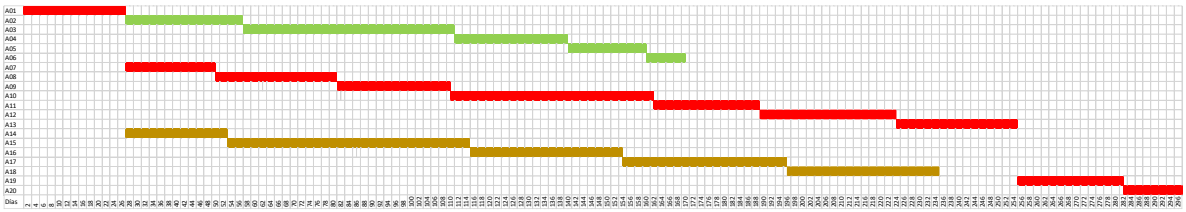


Ilustración 9. Diagrama de Gantt con tiempos de ejecución reales. Elaboración propia.

Con el objetivo de analizar cómo se hubiera podido mitigar el impacto de los riesgos que se hicieron efectivos, se profundizará en las actividades que tuvieron una mayor variación en sus tiempos de ejecución con respecto a los tiempos propuestos por los expertos inicialmente. En la siguiente tabla se evidencia que la mayor variación la tuvo la actividad A13 “Explotación y movimiento de material a patio de acopio” la cual cuenta con el mayor número de riesgos asociados, doce de los quince riesgos establecidos. Otra de las actividades que tuvo mayor variación fue la A08 “Formulación y verificación de plan de operación acorde al planeamiento minero” la cual también cuenta con 12 riesgos asociados

a su realización. Finalmente, otras cinco de las actividades analizadas tuvieron una variación de aproximadamente 17 días hábiles, teniendo en cuenta que la mayoría de estas actividades se encuentran en la misma ruta, el tiempo necesario para llevar a término estas actividades consecutivas incrementó significativamente y llevo a una variación el tiempo total de ejecución del proyecto como lo había previsto la metodología.

Actividad	T. teórico	T. Real	Variación
A01	26	26	0
A02	30	30	0
A03	45	54	9
A04	20	29	9
A05	20	20	0
A06	10	10	0
A07	23	23	0
A08	12	31	19
A09	20	29	9
A10	35	52	17
A11	10	27	17
A12	18	35	17
A13	10	31	21
A14	14	26	12
A15	45	62	17
A16	22	39	17
A17	30	42	12
A18	30	39	9
A19	15	27	12
A20	15	15	0

Tabla 15. Comparación tiempos de ejecución de actividades. Elaboración propia

Durante la ejecución de las diferentes actividades se hizo efectivo principalmente el riesgo R03 “Afectación por clima” el cual incremento el tiempo de realización de las actividades a las que estaba asociado aproximadamente 7 días hábiles, además de considerarse aquellos riesgos que por su naturaleza tenían una probabilidad alta de ocurrencia si este se hacía efectivo. De esta forma se evidenció que los riesgos R11 “Disminución de material explotado en frente de explotación” y R14 “Variación en parámetros de calidad de material explotado” se hicieron efectivos como consecuencia de la activación del riesgo R03. Es por

esto que las actividades que podían ser afectadas por estos riesgos aumentaron su tiempo de realización entre 4 y 5 días hábiles aproximadamente.

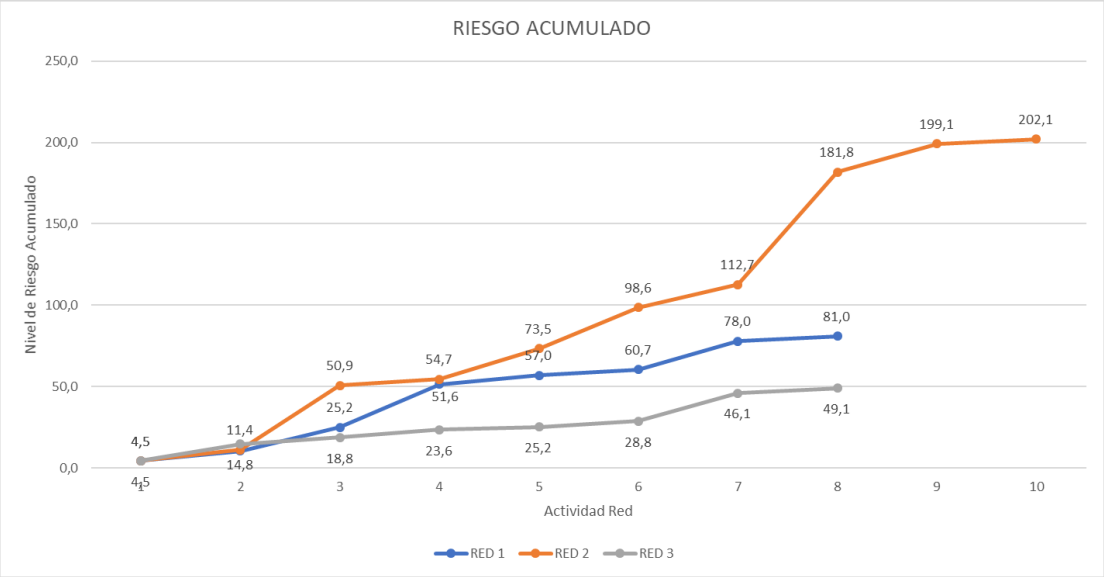


Ilustración 10. Gráfica de riesgo acumulado total por red de actividades. Elaboración propia.

Por otro lado, al no prestar la atención necesaria a las actividades A07 “Contratar personal necesario” y A09 “Implementar el SG-SST para la operación minera”, pertenecientes a la ruta número 2 de la red de actividades; con el objetivo de contratar a los profesionales adecuados que prestaran capacitación y control durante las operaciones para que pudieran ser llevadas a cabo exitosamente, se hizo efectivo el riesgo R01 “Accidentes laborales SST” que no solo impacto a estas actividades sino también a las actividades propias de la operación minera A10 y A11 incrementando sus tiempos de ejecución más de 5 días hábiles cada una. Por último, una actividad de suma importancia para el objetivo del proyecto es la A06 “Definir esquema de contratación de maquinaria y equipos de minería” la cual si bien no se encuentra en la ruta crítica de la metodología, cuenta con riesgos asociados muy importantes como el R07 “Desabastecimiento de combustibles e insumos” y R10 “Desabastecimiento total por parte de proveedores” los cuales están asociados a diversas actividades de la operación por ser estos recursos indispensables para llevar a cabo de forma adecuada las actividades. Al no prestarse atención y control suficiente sobre esta

actividad, las actividades que contaban con estos recursos tuvieron un retraso de aproximadamente 4 días hábiles cada una.

De esta forma es posible demostrar que si se hubieran enfocado los esfuerzos en mitigar los riesgos que se hicieron efectivos, como lo planteó en un principio la metodología propuesta, la variación en los tiempos de ejecución del proyecto hubiera sido mucho menor y se hubieran podido aprovechar los diversos recursos de una mejor manera. Pues como se ha venido relatando en este documento, y se demostró con la implementación en el proyecto de minería del municipio de Caparrapí, Cundinamarca, la metodología no solamente contempla el recurso tiempo, para su aprovechamiento, sino también los recursos financieros y de calidad como una forma de medir el desempeño de un proyecto y mitigar los riesgos que puedan disminuir estos factores mediante una oportuna formulación de dichos riesgos asociados.

10. CONCLUSIONES

La gestión del riesgo se ha vuelto fundamental para la formulación, gestión y evaluación de proyectos, pues existen riesgos que tienen el potencial de impactar diferentes áreas de un proyecto. Es por esto por lo que realizar un correcto análisis y evaluación del riesgo durante la fase de planeación procurando tomar acciones proactivas y no solo reactivas logra disminuir la incertidumbre asociada a cualquier proyecto que se encuentre en un entorno complejo.

En el estado del arte se encontraron diferentes herramientas enfocadas principalmente en identificar los riesgos cuyo impacto se asociara principalmente a los tiempos de ejecución o a los costos financieros de un proyecto, sin embargo son escasas las herramientas y metodologías que se enfocaran en la identificación de riesgos que afectaran la calidad del producto de un proyecto, así como las que procuraran una evaluación particular y global de las actividades de un proyecto o que bien realizaran un análisis tanto cualitativo como cuantitativo de estos, considerando la complejidad que puede llevar consigo la interrelación de las diferentes actividades que se deben llevar a cabo para la culminación exitosa del mismo. Para evaluar de forma acertada la complejidad mencionada es indispensable caracterizar los riesgos por medio de diferentes criterios como la naturaleza, el impacto, la probabilidad de ocurrencia, la subsecuencia y dependencia entre estos.

De esta forma se diseñó una metodología que aborda todas las especificaciones que se han mencionado, teniendo en cuenta el criterio de los expertos y utilizando diferentes métodos cuantitativos para partir de un análisis particular sobre cada actividad del proyecto y llegar hasta un análisis global de la criticidad total asociada a los riesgos del proyecto. Si bien los métodos que se utilizan dentro de la metodología son matriz DSM y método PERT, indirectamente también encontramos herramientas como la red de relacionamiento de riesgos y el análisis de significancia del riesgo. De esta forma a partir del eje fundamental de la metodología, que es la ecuación de probabilidad espontanea del riesgo, que considera la probabilidad de ocurrencia cualitativa, es posible realizar diferentes cálculos que permiten llegar a la evaluación de dicha criticidad, la cual se relaciona en la red de actividades del

proyecto. De esta forma es posible evaluar cuales son las actividades o bien la ruta de actividades a la que se debe prestar mayor atención y dirigir los esfuerzos con el objetivo de mitigar el impacto de los riesgos.

Una vez logrado esto se aplicó la metodología al proyecto de minería de carbón coquizable del municipio de Caparrapí, Cundinamarca, donde con ayuda de los expertos se definieron 15 riesgos asociados a 20 actividades principales del proyecto, sus probabilidades de ocurrencia e impactos cualitativos, y por último la matriz de dependencias que contempla la probabilidad de subsecuencia entre estos. Se llevaron a cabo los diferentes cálculos establecidos por la metodología a todas las actividades y al proyecto en general, y se realizó la red de actividades del proyecto, mediante la cual se utilizó el método PERT para determinar la ruta crítica.

A partir de esta fue posible realizar la comparación entre el resultado de dicho método que contempla principalmente los tiempos de ejecución del proyecto y pretende minimizar los mismos orientando los esfuerzos de mitigación de riesgos a la ruta de actividades que cuente con menor holgura. Mientras que la metodología propuesta estableció una ruta crítica diferente que cuenta con una criticidad total asociada a los riesgos de las actividades más alta y que pretende orientar los esfuerzos de mitigación a aquellas actividades que pueden prolongar de forma significativa el tiempo de realización total del proyecto.

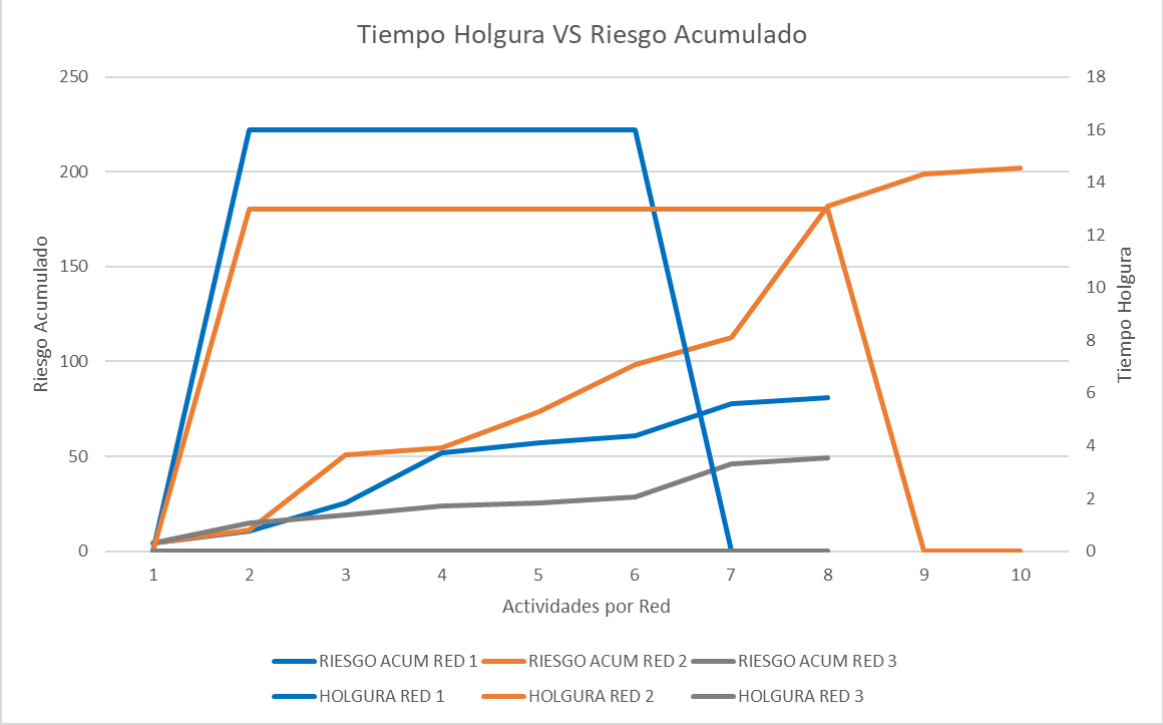


Ilustración 11. Gráfica comparativa metodología PERT vs metodología propuesta. Elaboración propia.

Según lo descrito en la Ilustración 11, se identifica para la red número 2 la holgura en tiempo llega a ser en 13 unidades de tiempo, siendo la menos crítica en términos de tiempo. Sin embargo, de acuerdo con las conclusiones obtenidas con la metodología propuesta, vemos que es la más crítica en términos de riesgo, dando así al gestor una visión diferente y una alternativa para orientar sus esfuerzos dentro de la gestión del proyecto desde la visión de la planeación.

Con esta comparación fue posible evidenciar la efectividad de la metodología pues se demostró que con la aplicación de esta y una correcta orientación de los esfuerzos de mitigación de riesgos, hubiese sido posible disminuir el tiempo de ejecución total del proyecto en al menos 99 días hábiles. De forma que no solo se aprovecha adecuadamente el recurso tiempo, sino además los recursos financieros y la calidad del producto final del proyecto. Es importante enfatizar, bajo la óptica de la propuesta realizada en este trabajo, dentro de la planeación de proyectos, esta herramienta puede llegar a mostrar una visión

complementaria, la cual ayude al cumplimiento de los objetivos con la utilización de recursos de manera eficiente, oportuna y que complemente la visión de los gestores de proyectos.

Tomando en cuenta que la metodología de ruta crítica hace parte de un sin número de metodologías tradicionales que son mayormente utilizadas, se demostró en este trabajo que la utilización de una herramienta diferente, el cual enmarca el criterio de expertos y las herramientas matemáticas en la evaluación del riesgo en proyectos, dentro del marco general de la gestión de proyectos en la fase de planeación, posibilita a los gestores soportar de una mejor manera la toma de decisiones y así lograr un mayor alcance de los objetivos propuestos.

11. REFERENCIAS

Abednego, M. P., & Ogunlana, S. O. (2006). Good project governance for proper risk allocation in public–private partnerships in Indonesia. *International Journal of Project Management*, *24*(7), 622–634. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.07.010

Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014). A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. *International Journal of Project Management*, *32*(3), 423–434. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.08.003

Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2015). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques. *International Journal of Project Management*, *33*(7), 1597–1609. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.012

Adams, F. K. (2008). Risk perception and Bayesian analysis of international construction contract risks: The case of payment delays in a developing economy. *International Journal of Project Management*, *26*(2), 138–148. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.05.007

Al Khattab, A., Anchor, J., & Davies, E. (2007). Managerial perceptions of political risk in international projects. *International Journal of Project Management*, *25*(7), 734–743. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.03.006

Aliverdi, R., Moslemi Naeni, L., & Salehipour, A. (2013). Monitoring project duration and cost in a construction project by applying statistical quality control charts. *International Journal of Project Management*, *31*(3), 411–423. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.08.005

Barber, R. B. (2005). Understanding internally generated risks in projects. *International Journal of Project Management*, *23*(8), 584–590. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.05.006

Becker, K., & Smidt, M. (2015). Workforce-related risks in projects with a contingent workforce. *International Journal of Project Management*, *33*(4), 889–900. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.10.014

Branch, J. W., Jaramillo, G., & Franco, G. (2012). El planeamiento minero en Colombia: Hacía lo estocástico. *DYNA*, *79*, 17–19.

Cano Gochl, A. Del, De, P., & López, L. C. (n.d.). *Gestión de Riesgos en la Dirección de Proyectos: el modelo del Project Management Institute*.

Carbonara, N., Costantino, N., & Pellegrino, R. (2014). Concession period for PPPs: A win–win model for a fair risk sharing. *International Journal of Project Management*, *32*(7), 1223–1232. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.01.007

Caron, F., Fumagalli, M., & Rigamonti, A. (2007). Engineering and contracting projects: A value at risk-based approach to portfolio balancing. *International Journal of Project Management*, *25*(6), 569–578. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.01.016

Chang, C.-Y. (2015). Risk-bearing capacity as a new dimension to the analysis of project governance. *International Journal of Project Management*, *33*(6), 1195–1205. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.003

Chapman, C. (1997). Project risk analysis and management—PRAM the generic process. *International Journal of Project Management*, *15*(5), 273–281. https://doi.org/10.1016/S0263-7863(96)00079-8

Chapman, C., & Ward, S. (n.d.). *Managing Project Risk and Uncertainty: A Constructively Simple Approach to Decision Making*.

Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. John Wiley and Sons, Ltd.

Chapman, C., & Ward, S. (2004). Why risk efficiency is a key aspect of best practice projects. *International Journal of Project Management*, *22*(8), 619–632. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.05.001

Cheng, Y.-M. (2014). An exploration into cost-influencing factors on construction projects. *International Journal of Project Management*, *32*(5), 850–860. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.10.003

Cooper, D. F., Grey, S., & Raymond, G. (n.d.). *Project Risk Management Guidelines: Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements*.

de Camprieu, R., Desbiens, J., & Feixue, Y. (2007). 'Cultural' differences in project risk perception: An empirical comparison of China and Canada. *International Journal of Project Management*, *25*(7), 683–693. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.07.005

Dialnet-AplicacionDeLaSimulacionMonteCarloEnElCalculoDelRi-4835801. (n.d.).

Elard F. León D. (2006). LA IMPORTANCIA DEL CARBÓN MINERAL EN EL DESARROLLO. *Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, *Vol. 9, N^{o} 18, 91-97*(ISSN: 1561-0888 (impreso) / 1628-8097 (electrónico)).

El-Sayegh, S. M. (2008). Risk assessment and allocation in the UAE construction industry. *International Journal of Project Management*, *26*(4), 431–438. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.07.004

Espinoza, R. D. (2014). Separating project risk from the time value of money: A step toward integration of risk management and valuation of infrastructure investments. *International Journal of Project Management*, *32*(6), 1056–1072. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.006

Fang, C., & Marle, F. (2012). A simulation-based risk network model for decision support in project risk management. *Decision Support Systems*, *52*(3), 635–644. https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.10.021

Fu, Y., Li, M., & Chen, F. (2012). Impact propagation and risk assessment of requirement changes for software development projects based on design structure matrix. *International Journal of Project Management*, *30*(3), 363–373. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.08.004

Gautier, G., Kapogiannis, G., Piddington, C., Fernando, T., & Polychronakis, Y. (2009). Proactive project management. *Proceedings - 2009 International Conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications, IESA 2009*, 320–326. https://doi.org/10.1109/I-ESA.2009.44

Gładysz, B., Skorupka, D., Kuchta, D., & Duchaczek, A. (2015). Project Risk time Management – A Proposed Model and a Case Study in the Construction Industry. *Procedia Computer Science*, *64*, 24–31. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.459

Granados, M. A. (2019). *Análisis conjunto mediante modelos lineales jerárquicos y modelos jerárquicos Bayesianos. Una aproximación mediante análisis multivariado Conjoint analysis using hierarchical linear models and hierarchical Bayesian models. An approach using multivariate analysis*.

Hillson, D. (n.d.). *Managing Risk in Projects*.

Huang, Z., Zhang, W., Sun, H., Pan, Q., Zhang, J., & Li, Y. (2023). Risk uncertainty analysis in shield tunnel projects. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *132*, 104899. https://doi.org/10.1016/J.TUST.2022.104899

Hurtado, J. P., Universidad, P., Quindío, D., De Ciencias Básicas, F., Tecnologías, Y., & De, P. (2014). *LÓGICA DIFUSA: PERSPECTIVA Y APLICACIONES*.

Ingvarson, J., & Hassel, H. (2023). On the strength of arguments related to standardization in risk management regulations. *Safety Science*, *158*, 105998. https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2022.105998

Institution of Civil Engineers. (2005). *RAMP: Risk Analysis and Management for Projects.pdf* (p. 144). Thomas Telford.

Kerzner, Harold., & Saladis, F. P. (2009). *Project management workbook and PMP/CAPM exam study guide*. J. Wiley & Sons.

Khodakarami, V., & Abdi, A. (2014). Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. *International Journal of*

Project Management, *32*(7), 1233–1245. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.01.001

Kuo, Y.-C., & Lu, S.-T. (2013). Using fuzzy multiple criteria decision-making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. *International Journal of Project Management*, *31*(4), 602–614. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.003

Lam, K. C., Wang, D., & Lam, M. C. K. (2007). The capital budgeting evaluation practices (2004) of building contractors in Hong Kong. *International Journal of Project Management*, *25*(8), 824–834. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.03.010

Lam, K. C., Wang, D., Lee, P. T. K., & Tsang, Y. T. (2007). Modelling risk allocation decision in construction contracts. *International Journal of Project Management*, *25*(5), 485–493. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.005

Lavandaio, E. (2014). *Conozcamos más sobre Minería: Vol. Publicaciones Nº 168* (D. RASTELLI, Ed.; 2ª edición). Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR.

Lehtiranta, L. (2014). Risk perceptions and approaches in multi-organizations: A research review 2000–2012. *International Journal of Project Management*, *32*(4), 640–653. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.09.002

Leo, D., Aranda, E.;, Addati, D.;, & Andrés, G. (n.d.). *Standard-Nutzungsbedingungen*. http://hdl.handle.net/10419/238364

Liu, S., & Wang, L. (2014). Understanding the impact of risks on performance in internal and outsourced information technology projects: The role of strategic importance. *International Journal of Project Management*, *32*(8), 1494–1510. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.01.012

Liu, S., & Wang, L. (2015). Influence of managerial control on performance in medical information system projects: The moderating role of organizational environment and team risks. *International Journal of Project Management*, *34*(1), 102–116. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.10.003

Luu, V. T., Kim, S.-Y., Tuan, N. Van, & Ogunlana, S. O. (2009). Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks. *International Journal of Project Management*, *27*(1), 39–50. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.03.003

Machiels, T., Compernolle, T., & Coppens, T. (2023). Stakeholder perceptions of uncertainty matter in megaprojects: The Flemish A102 infrastructure project. *International Journal of Project Management*, *41*(1), 102437. https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2023.102437

Marcelino-Sádaba, S., Pérez-Ezcurdia, A., Echeverría Lazcano, A. M., & Villanueva, P. (2014). Project risk management methodology for small firms. *International Journal of Project Management*, *32*(2), 327–340. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.05.009

Medda, F. (2007). A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships. *International Journal of Project Management*, *25*(3), 213–218. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.06.003

Moreno Valbuena, K. V., & González, L. J. (2011). Control dinámico de proyectos con priorización de actividades. *IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2

Mu, S., Cheng, H., Chohr, M., & Peng, W. (2014). Assessing risk management capability of contractors in subway projects in mainland China. *International Journal of Project Management*, *32*(3), 452–460. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.08.007

Muñoz, D., & Cuadros, A. (2017). Comparación de metodologías para la gestión de riesgos en los proyectos de las Pymes. *Revista Ciencias Estratégicas*, *25*(38), 319–338. https://doi.org/rces.v25n38.a4

Olsson, R. (2007). In search of opportunity management: Is the risk management process enough? *International Journal of Project Management*, *25*(8), 745–752. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.03.005

Perminova, O., Gustafsson, M., & Wikström, K. (2008). Defining uncertainty in projects – a new perspective. *International Journal of Project Management*, *26*(1), 73–79. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.08.005

Practical Proj ect Risk Management. (n.d.).

Project Management Institute. (2008). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide).* Project Management Institute.

Project Management Institute. (2009). *Practice standard for project risk management*. Project Management Institute.

Project Management Institute. (2013). *GUIA DE LOS FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (GUIA DEL PMBOK)* (Quinta Edi).

Risk management and construction (Roger Flanagan George Norman) (Z-Library). (n.d.).

Rueda Velasco, F. J., González, L. J., Kalenatic, D., & Lopez Bello, C. A. (2011). Control dinámico de proyectos. Un modelo basado en recursos renovables. *IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*, *1*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Rueda Velasco, F. Javier., González Rodríguez, L. José., & Mancera Méndez, L. H. (2009). Modelo para la Medición del impacto de la Variabilidad en Recursos Renovables para la Gestión de Proyectos. *Memorias Del 7º Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*.

Sa'dl Issa Alkhawaja, A., & Varouqa, I. F. (2023). Risks management of infrastructure line services and their impact on the financial costs of road projects in Jordan. *Measurement: Sensors*, *25*, 100647. https://doi.org/10.1016/J.MEASEN.2022.100647

Sanderson, J. (2012). Risk, uncertainty and governance in megaprojects: A critical discussion of alternative explanations. *International Journal of Project Management*, *30*(4), 432–443. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.11.002

Sastoque, L. M., Arboleda, C. A., & Ponz, J. L. (2016). A Proposal for Risk Allocation in Social Infrastructure Projects Applying PPP in Colombia. *Procedia Engineering*, *145*, 1354–1361. https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.04.174

Sato, T., & Hirao, M. (2013). Optimum budget allocation method for projects with critical risks. *International Journal of Project Management*, *31*(1), 126–135. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.04.002

Sharma, A., & Gupta, A. (2012). Impact of organisational climate and demographics on project specific risks in context to Indian software industry. *International Journal of Project Management*, *30*(2), 176–187. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.05.003

Vujović, V., Denić, N., Stevanović, V., Stevanović, M., Stojanović, J., Cao, Y., Alhammadi, Y., Jermsittiparsert, K., Van Le, H., Wakil, K., & Radojkovic, I. (2020). Project planning and risk management as a success factor for IT projects in agricultural schools in Serbia. *Technology in Society*, *63*, 101371. https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2020.101371

Wang, Y., & Liu, J. (2015). Evaluation of the excess revenue sharing ratio in PPP projects using principal–agent models. *International Journal of Project Management*, *33*(6), 1317–1324. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.03.002

Ward, S., & Chapman, C. (2003). Transforming project risk management into project uncertainty management. *International Journal of Project Management*, *21*(2), 97–105. https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00080-1

Yim, R., Castaneda, J., Doolen, T., Tumer, I., & Malak, R. (2014). A study of the impact of project classification on project risk indicators. *International Journal of Project Management*, *33*(4), 863–876. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.10.005

Zayed, T., Amer, M., & Pan, J. (2008). Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP. *International Journal of Project Management*, *26*(4), 408–419. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.05.012

Zhang, Y., & Fan, Z.-P. (2014). An optimization method for selecting project risk response strategies. *International Journal of Project Management*, *32*(3), 412–422. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.06.006

Zou, P. X. W., Zhang, G., & Wang, J. (2007). Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*, *25*(6), 601–614. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.03.001

Zwikael, O., Shimizu, K., & Globerson, S. (2005). Cultural differences in project management capabilities: A field study. *International Journal of Project Management*, *23*(6), 454–462. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.04.003

12. ANEXOS

EVALUACION DE LA CRITICIDAD TOTAL DE LOS RIESGOS ASOCIADOS A CADA ACTIVIDAD

A01. Establecer planeamiento minero del proyecto

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	1	0,000	0
R 02	1	0,000	0
R 03	1	0,000	0
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	5	0,126	8
R 11	1	0,000	0
R 12	4	0,050	7
R 13	1	0,000	0
R 14	1	0,000	0
R 15	6	0,232	7

Tabla 1. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A01

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	66,2%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	34,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,4%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	80,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	27,1%
R 11	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,7%	0,0%	70,1%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	29,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	75,5%
R 14	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,9%	0,0%	70,8%	0,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Tabla 2. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A01

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	**PROBABILIDAD CUALITATIVA**	**PROBABILIDAD ESPONTANEA**	**IMPACTO CUALITATIVO**	**CRITICIDAD CUALITATIVA**	**CRITICIDAD EVALUADA**	**FRECUENCIA ESTADÍSTICA**	**CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)**	**CRITICIDAD SIMULADA LOCAL**	**CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL**
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	1	0,00	0	0	-	-	-	-	0
R 02	1	0,00	0	0	-	-	-	-	0
R 03	1	0,00	0	0	-	-	-	-	0
R 04	1	0,00	0	0	-	0,179	-	-	0
R 05	1	0,00	0	0	-	0,043	-	-	0
R 06	1	0,00	0	0	-	0,003	-	-	0
R 07	1	0,00	0	0	-	-	-	-	0
R 08	1	0,00	0	0	-	0,100	-	-	0
R 09	1	0,00	0	0	-	-	-	-	0
R 10	5	0,13	8	40	1,005	0,188	1,508	1,508	0,284
R 11	1	0,00	0	0	-	0,049	-	-	0
R 12	4	0,05	7	28	0,350	0,050	0,350	0,350	0,018
R 13	1	0,00	0	0	-	0,212	-	-	0
R 14	1	0,00	0	0	-	0,054	-	-	0
R 15	6	0,23	7	42	1,625	0,232	3,132	1,625	0,727

Tabla 3. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A01

RISK ID	**CRITICIDAD SIMULADA LOCAL**	**CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL**	**Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad**
			4,510532133
R 10	1,50751285	0,28407438	
R 12	0,35	0,0175	
R 15	1,62455609	0,72688881	

Tabla 4. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A01

A02. Obtener resolución licencia ambiental definitiva CAR

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	1	0,000	0
R 02	1	0,000	0
R 03	1	0,000	0
R 04	5	0,126	9
R 05	6	0,232	8
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	1	0,000	0
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 5. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A02

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	62,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	63,0%	90,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	34,8%	64,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	0,0%	0,0%	0,0%	3,0%	4,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	0,0%	0,0%	0,0%	1,9%	96,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 14	0,0%	0,0%	0,0%	85,2%	66,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 6. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A02

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 02	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 03	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 04	5	0,126	9	45	1,130	0,270	2,433	2,433	0,658
R 05	6	0,232	8	48	1,857	0,232	4,290	1,857	0,996
R 06	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	0,289	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	0,194	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,013	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 13	1	0,000	0	0	-	0,227	-	-	0
R 14	1	0,000	0	0	-	0,261	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0

Tabla 7. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A02

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			5,943174806
R 04	2,433159104	0,657807025	
R 05	1,856635533	0,995573144	

Tabla 8. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A02

A03. Realizar y ejecutar plan de aprovechamiento forestal

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	3	0,011	7
R 02	5	0,126	8
R 03	6	0,232	9
R 04	5	0,126	10
R 05	5	0,126	7
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	1	0,000	0
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 9. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A03

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	11,7%	29,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	22,2%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	84,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 05	78,4%	75,5%	72,9%	14,3%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	60,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	43,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	26,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	93,2%	24,5%	6,4%	77,9%	44,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	33,9%	85,1%	83,9%	34,7%	31,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	43,8%	27,2%	67,5%	82,4%	83,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 14	29,0%	35,0%	21,6%	29,5%	62,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 10. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A03

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	3	0,011	7	21	0,075	0,093	4,590	0,654	0,428882918
R 02	5	0,126	8	40	1,005	0,128	4,590	1,024	0,587481708
R 03	6	0,232	9	54	2,089	0,232	5,655	2,089	1,31242458
R 04	5	0,126	10	50	1,256	0,231	5,224	2,311	1,207347514
R 05	5	0,126	7	35	0,879	0,416	5,224	2,912	2,173265701
R 06	1	0,000	0	0	-	0,140	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	0,086	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	0,061	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	0,210	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,389	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 13	1	0,000	0	0	-	0,404	-	-	0
R 14	1	0,000	0	0	-	0,213	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0

Tabla 11. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A03

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			14,69966783
R 01	0,65403668	0,42888292	
R 02	1,0238814	0,58748171	
R 03	2,08871498	1,31242458	
R 04	2,31131793	1,20734751	
R 05	2,91231443	2,1732657	

Tabla 12. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A03

A04. Actualizar y validar PMA

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	5	0,126	7
R 02	4	0,050	8
R 03	6	0,232	10
R 04	6	0,232	10
R 05	5	0,126	9
R 06	3	0,011	7
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	6	0,232	9
R 13	1	0,000	0
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 13. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A04

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	79,2%	16,5%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	78,3%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	64,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	67,0%	49,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 05	56,9%	42,7%	0,9%	82,6%	100,0%	54,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	56,4%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	24,4%	32,1%	65,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	40,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	16,9%	84,8%	71,8%	88,2%	99,5%	56,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	62,1%	59,0%	72,7%	55,8%	92,4%	50,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	86,2%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	40,6%	59,4%	23,8%	92,8%	12,7%	77,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 14	36,1%	84,9%	76,7%	18,6%	82,9%	5,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	34,6%	0,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 14. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A04

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	5	0,126	7	35	0,879	0,203	6,429	1,424	1,308121331
R 02	4	0,050	8	32	0,400	0,155	6,429	1,242	0,997655874
R 03	6	0,232	10	60	2,321	0,232	8,500	2,321	1,972633342
R 04	6	0,232	10	60	2,321	0,322	6,978	3,216	2,24389653
R 05	5	0,126	9	45	1,130	0,418	6,978	3,763	2,917529836
R 06	3	0,011	7	21	0,075	0,142	10,636	0,992	1,507091389
R 07	1	0,000	0	0	-	0,214	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	0,094	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	0,566	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,727	-	-	0
R 12	6	0,232	9	54	2,089	0,232	2,089	2,089	0,484747805
R 13	1	0,000	0	0	-	0,375	-	-	0
R 14	1	0,000	0	0	-	0,494	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0

Tabla 15. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A04

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			26,477
R 01	1,424	1,308	
R 02	1,242	0,998	
R 03	2,321	1,973	
R 04	3,216	2,244	
R 05	3,763	2,918	
R 06	0,992	1,507	
R 12	2,089	0,485	

Tabla 16. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A04

A05. Diseñar y ejecutar plan de RSE

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	1	0,000	0
R 02	1	0,000	0
R 03	1	0,000	0
R 04	6	0,232	9
R 05	1	0,000	0
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	5	0,126	7
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 17. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A05

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	37,1%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	20,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	27,5%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	63,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	82,5%	0,0%	0,0%
R 11	0,0%	0,0%	0,0%	17,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	12,2%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	0,0%	0,0%	0,0%	19,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	0,0%	0,0%	0,0%	41,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	78,8%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 18. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A05

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	**PROBABILIDAD CUALITATIVA**	**PROBABILIDAD ESPONTANEA**	**IMPACTO CUALITATIVO**	**CRITICIDAD CUALITATIVA**	**CRITICIDAD EVALUADA**	**FRECUENCIA ESTADÍSTICA**	**CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)**	**CRITICIDAD SIMULADA LOCAL**	**CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL**
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 02	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 03	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 04	6	0,232	9	54	2,089	0,279	3,700	2,508	1,031150963
R 05	1	0,000	0	0	-	0,048	-	-	0
R 06	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	0,0345	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	0,252	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,055	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 13	5	0,126	7	35	0,879	0,170	3,700	1,192	0,629780835
R 14	1	0,000	0	0	-	0,195	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0

Tabla 19. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A05

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			5,361
R 04	2,508	1,031	
R 13	1,192	0,630	

Tabla 20. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A05

A06. Definir esquema de contratación de maquinaria y equipos minería

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	1	0,000	0
R 02	1	0,000	0
R 03	1	0,000	0
R 04	4	0,050	7
R 05	1	0,000	0
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	5	0,126	8
R 10	4	0,050	10
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	1	0,000	0
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 21. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A06

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	32,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	30,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,7%	8,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	35,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	67,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	25,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,4%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	0,0%	0,0%	0,0%	82,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	49,8%	58,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	0,0%	0,0%	0,0%	53,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	86,6%	32,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 14	0,0%	0,0%	0,0%	70,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	39,3%	41,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 22. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A06

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 02	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 03	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 04	4	0,050	7	28	0,350	0,066	2,828	0,463	0,186893808
R 05	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 06	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	0,031	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 09	5	0,126	8	40	1,005	0,177	2,365	1,419	0,419523404
R 10	4	0,050	10	40	0,500	0,095	2,828	0,946	0,267428777
R 11	1	0,000	0	0	-	0,133	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 13	1	0,000	0	0	-	0,152	-	-	0
R 14	1	0,000	0	0	-	0,106	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0

Tabla 23. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A06

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			3,701448238
R 04	0,46267351	0,18689381	
R 09	1,41914941	0,4195234	
R 10	0,94577933	0,26742878	

Tabla 24. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A06

A07. Contratar personal necesario

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	1	0,000	0
R 02	1	0,000	0
R 03	1	0,000	0
R 04	6	0,232	10
R 05	1	0,000	0
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	5	0,126	8
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 25. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A07

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	33,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	80,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	0,0%	0,0%	0,0%	61,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	0,0%	0,0%	0,0%	84,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	0,0%	0,0%	0,0%	5,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	43,8%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 26. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A07

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 02	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 03	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 04	6	0,232	10	60	2,321	0,232	4,902	2,321	1,137764714
R 05	1	0,000	0	0	-	0,078	-	-	0
R 06	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	0,187	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,143	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 13	5	0,126	8	40	1,005	0,323	2,582	2,582	0,833137258
R 14	1	0,000	0	0	-	0,067	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 27. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A07

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			6,873
R 04	2,321	1,138	
R 13	2,582	0,833	

Tabla 28. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A07

A08. Formulación y verificación de plan de operación acorde al planeamiento minero

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	1	0,000	2
R 02	1	0,000	6
R 03	4	0,050	3
R 04	6	0,232	10
R 05	5	0,126	4
R 06	4	0,050	7
R 07	5	0,126	4
R 08	4	0,050	3
R 09	5	0,126	3
R 10	4	0,050	8
R 11	4	0,050	3
R 12	4	0,050	9
R 13	3	0,011	3
R 14	3	0,011	2
R 15	1	0,000	9

Tabla 29. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A08

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	15,9%	0,0%	34,3%	45,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	80,2%	0,0%	0,0%	71,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	81,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,5%	25,8%	54,5%	56,0%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	69,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	10,9%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	51,4%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	40,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	53,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	56,3%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	63,8%	23,0%	6,5%	37,5%	59,3%	34,6%	27,2%	100,0%	0,0%	42,1%	72,2%	0,0%	0,0%
R 11	0,0%	0,0%	56,1%	70,8%	80,7%	67,0%	39,1%	67,5%	24,5%	84,2%	100,0%	59,4%	87,2%	84,5%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	0,0%	0,0%	42,0%	80,7%	45,4%	57,7%	32,9%	40,8%	30,9%	48,8%	27,5%	71,4%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	0,0%	0,0%	44,8%	26,4%	69,4%	35,8%	14,7%	19,5%	75,4%	36,8%	0,6%	59,4%	49,8%	100,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 30. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A08

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	1	0,000	2	0	0,000	0,083	-	0,165	0
R 02	1	0,000	6	0	0,000	0,129	-	0,775	0
R 03	4	0,050	3	8	0,150	0,050	7,923	0,150	0,396160668
R 04	6	0,232	10	9	2,321	0,389	10,355	3,886	4,023424137
R 05	5	0,126	4	8	0,502	0,161	10,997	0,642	1,765428586
R 06	4	0,050	7	9	0,350	0,055	8,440	0,388	0,46807658
R 07	5	0,126	4	8	0,502	0,171	7,744	0,686	1,32738568
R 08	4	0,050	3	8	0,150	0,077	6,864	0,230	0,526522296
R 09	5	0,126	3	7	0,377	0,196	7,998	0,589	1,569897025
R 10	4	0,050	8	10	0,400	0,317	11,040	2,536	3,499403952
R 11	4	0,050	3	6	0,150	0,581	10,355	1,744	6,018864354
R 12	4	0,050	9	7	0,450	0,050	10,805	0,450	0,540239825
R 13	3	0,011	3	6	0,032	0,479	10,355	1,438	4,961961637
R 14	3	0,011	2	8	0,022	0,376	2,496	0,752	0,938679636
R 15	1	0,000	9	0	0,000	0,000	-	-	0

Tabla 31. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A08

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			39,526
R 03	0,150	0,396	
R 04	3,886	4,023	
R 05	0,642	1,765	
R 06	0,388	0,468	
R 07	0,686	1,327	
R 08	0,230	0,527	
R 09	0,589	1,570	
R 10	2,536	3,499	
R 11	1,744	6,019	
R 12	0,450	0,540	
R 13	1,438	4,962	
R 14	0,752	0,939	

Tabla 32. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A08

A09. Implementar el SG-SST para la operación minera

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	5	0,126	8
R 02	5	0,126	8
R 03	4	0,050	7
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	4	0,050	6
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 33. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A09

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	73,4%	0,0%	0,0%
R 05	74,7%	68,1%	60,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	58,2%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	74,4%	54,8%	25,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	86,2%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	15,0%	35,7%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	69,1%	51,3%	5,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	44,8%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 34. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A09

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	5	0,126	8	40	1,005	0,126	1,786	1,005	0,224357128
R 02	5	0,126	8	40	1,005	0,126	1,786	1,005	0,224357128
R 03	4	0,050	7	28	0,350	0,050	1,132	0,350	0,056580453
R 04	1	0,000	0	0	-	0,037	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,239	-	-	0
R 06	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,218	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0
R 13	4	0,050	6	24	0,300	0,130	0,782	0,782	0,101818786
R 14	1	0,000	0	0	-	0,176	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	-	-	-	0

Tabla 35. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A09

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			3,748
R 01	1,005	0,224	
R 02	1,005	0,224	
R 03	0,350	0,057	
R 13	0,782	0,102	

Tabla 36. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A09

A10. Adecuar zonas de explotación por manto de carbón

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	5	0,126	7
R 02	4	0,050	7
R 03	5	0,126	8
R 04	5	0,126	7
R 05	1	0,000	0
R 06	4	0,050	7
R 07	3	0,011	7
R 08	4	0,050	6
R 09	4	0,050	7
R 10	3	0,011	8
R 11	3	0,011	7
R 12	2	0,001	9
R 13	4	0,050	7
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 37. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A10

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	54,1%	0,0%	42,2%	56,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	38,3%	0,0%	67,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	51,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	17,7%	0,0%	0,0%
R 05	36,8%	68,9%	0,0%	70,7%	0,0%	68,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	75,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	70,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	22,3%	100,0%	0,0%	0,0%	36,3%	0,0%	0,0%
R 11	62,8%	63,3%	20,9%	73,8%	0,0%	32,2%	51,0%	3,6%	56,6%	0,0%	100,0%	9,1%	31,3%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	29,4%	70,6%	17,4%	69,6%	0,0%	59,2%	86,0%	83,6%	0,0%	0,0%	27,3%	59,8%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	2,6%	83,9%	66,3%	31,1%	0,0%	55,2%	32,9%	86,0%	77,1%	71,5%	24,1%	64,8%	34,9%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 38. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A10

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	5	0,126	7	35	0,879	0,202	5,777	1,415	1,167396412
R 02	4	0,050	7	28	0,350	0,103	5,081	0,719	0,521880927
R 03	5	0,126	8	40	1,005	0,126	6,197	1,005	0,778248035
R 04	5	0,126	7	35	0,879	0,160	5,484	1,122	0,878942063
R 05	1	0,000	0	0	-	0,203	-	-	0
R 06	4	0,050	7	28	0,350	0,050	7,989	0,350	0,399471051
R 07	3	0,011	7	21	0,075	0,019	4,495	0,132	0,084787428
R 08	4	0,050	6	24	0,300	0,138	7,325	0,829	1,012380238
R 09	4	0,050	7	28	0,350	0,050	4,239	0,350	0,211945723
R 10	3	0,011	8	24	0,086	0,040	0,453	0,321	0,018144961
R 11	3	0,011	7	21	0,075	0,308	4,363	2,154	1,342254114
R 12	2	0,001	9	18	0,005	0,002	4,384	0,022	0,010522232
R 13	4	0,050	7	28	0,350	0,316	5,805	2,209	1,831733173
R 14	1	0,000	0	0	-	0,308	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 39. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A10

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			18,884
R 01	1,415	1,167	
R 02	0,719	0,522	
R 03	1,005	0,778	
R 04	1,122	0,879	
R 06	0,350	0,399	
R 07	0,132	0,085	
R 08	0,829	1,012	
R 09	0,350	0,212	
R 10	0,321	0,018	
R 11	2,154	1,342	
R 12	0,022	0,011	
R 13	2,209	1,832	

Tabla 40. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A10

A11. Descapote de pit de explotación

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	4	0,050	7
R 02	5	0,126	9
R 03	6	0,232	9
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	6	0,232	10
R 07	4	0,050	7
R 08	3	0,011	5
R 09	4	0,050	6
R 10	3	0,011	8
R 11	2	0,001	5
R 12	3	0,011	5
R 13	4	0,050	7
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 41. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A11

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,7%	0,0%	67,1%	31,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	59,5%	0,0%	80,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	69,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	60,1%	0,0%	0,0%
R 05	83,5%	49,0%	0,0%	0,0%	0,0%	56,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	73,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	22,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	39,6%	100,0%	0,0%	0,0%	23,9%	0,0%	0,0%
R 11	77,4%	72,0%	65,9%	0,0%	0,0%	77,5%	45,2%	26,5%	59,6%	0,0%	100,0%	60,9%	28,1%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	65,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	35,1%	25,4%	4,8%	0,0%	0,0%	26,1%	57,5%	66,5%	0,0%	0,0%	12,9%	25,2%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	72,3%	35,0%	28,4%	0,0%	0,0%	58,0%	73,7%	5,9%	86,1%	3,2%	55,1%	3,7%	87,5%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 42. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A11

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	4	0,050	7	28	0,350	0,096	4,831	0,669	0,462
R 02	5	0,126	9	45	1,130	0,272	6,614	2,452	1,802
R 03	6	0,232	9	54	2,089	0,232	6,566	2,089	1,524
R 04	1	0,000	0	0	-	0,192	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,234	-	-	0
R 06	6	0,232	10	60	2,321	0,232	10,421	2,321	2,419
R 07	4	0,050	7	28	0,350	0,058	4,568	0,406	0,265
R 08	3	0,011	5	15	0,054	0,063	7,598	0,315	0,479
R 09	4	0,050	6	24	0,300	0,050	4,001	0,300	0,200
R 10	3	0,011	8	24	0,086	0,042	0,746	0,340	0,032
R 11	2	0,001	5	10	0,003	0,538	4,162	2,692	2,241
R 12	3	0,011	5	15	0,054	0,164	4,980	0,818	0,815
R 13	4	0,050	7	28	0,350	0,210	4,502	1,470	0,945
R 14	1	0,000	0	0	-	0,406	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 43. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A11

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			25,053
R 01	0,669	0,462	
R 02	2,452	1,802	
R 03	2,089	1,524	
R 06	2,321	2,419	
R 07	0,406	0,265	
R 08	0,315	0,479	
R 09	0,300	0,200	
R 10	0,340	0,032	
R 11	2,692	2,241	
R 12	0,818	0,815	
R 13	1,470	0,945	

Tabla 44. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A11

A12. Adecuación de espacio para botadero de estériles

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	4	0,050	6
R 02	7	0,360	9
R 03	4	0,050	7
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	5	0,126	9
R 07	4	0,050	7
R 08	3	0,011	5
R 09	4	0,050	6
R 10	3	0,011	8
R 11	2	0,001	3
R 12	4	0,050	6
R 13	3	0,011	5
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 45. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A12

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	49,7%	0,0%	12,1%	68,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	29,3%	0,0%	6,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	81,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	66,3%	0,0%	0,0%
R 05	81,5%	67,2%	0,0%	0,0%	0,0%	5,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	18,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	17,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	67,1%	100,0%	0,0%	0,0%	80,8%	0,0%	0,0%
R 11	64,7%	4,6%	50,8%	0,0%	0,0%	21,0%	47,4%	82,7%	49,6%	0,0%	100,0%	64,6%	3,2%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	27,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	18,6%	23,0%	42,4%	0,0%	0,0%	69,7%	32,5%	8,0%	0,0%	0,0%	87,6%	35,7%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	80,2%	17,1%	9,9%	0,0%	0,0%	42,6%	56,3%	89,0%	48,2%	23,0%	3,5%	53,2%	66,7%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 46. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A12

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	4	0,050	6	24	0,300	0,148	2,696	0,887	0,398
R 02	7	0,360	9	63	3,239	0,397	5,386	3,576	2,140
R 03	4	0,050	7	28	0,350	0,050	2,257	0,350	0,113
R 04	1	0,000	0	0	-	0,110	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,289	-	-	0
R 06	5	0,126	9	45	1,130	0,126	7,910	1,130	0,993
R 07	4	0,050	7	28	0,350	0,002	1,826	0,017	0,004
R 08	3	0,011	5	15	0,054	0,019	6,370	0,097	0,124
R 09	4	0,050	6	24	0,300	0,050	2,185	0,300	0,109
R 10	3	0,011	8	24	0,086	0,053	0,441	0,424	0,023
R 11	2	0,001	3	6	0,002	0,191	1,810	0,574	0,346
R 12	4	0,050	6	24	0,300	0,084	2,316	0,507	0,196
R 13	3	0,011	5	15	0,054	0,247	2,234	1,235	0,552
R 14	1	0,000	0	0	-	0,258	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 47. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A12

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			14,098
R 01	0,887	0,398	
R 02	3,576	2,140	
R 03	0,350	0,113	
R 06	1,130	0,993	
R 07	0,017	0,004	
R 08	0,097	0,124	
R 09	0,300	0,109	
R 10	0,424	0,023	
R 11	0,574	0,346	
R 12	0,507	0,196	
R 13	1,235	0,552	

Tabla 48. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A12

A13. Explotación y movimiento de material a patio de acopio

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	6	0,232	7
R 02	6	0,232	9
R 03	5	0,126	6
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	5	0,126	9
R 07	4	0,050	6
R 08	3	0,011	5
R 09	3	0,011	3
R 10	2	0,001	8
R 11	6	0,232	8
R 12	4	0,050	9
R 13	4	0,050	7
R 14	4	0,050	8
R 15	1	0,000	0

Tabla 49. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A13

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	9,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,0%	0,0%	44,2%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,8%	0,0%	49,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	43,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	26,0%	0,0%	0,0%
R 05	52,9%	82,3%	0,0%	0,0%	0,0%	75,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	35,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	70,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,3%	100,0%	0,0%	0,0%	5,4%	73,5%	0,0%
R 11	15,6%	80,0%	79,5%	0,0%	0,0%	12,2%	19,9%	6,7%	27,9%	0,0%	100,0%	74,7%	26,1%	84,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	55,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	52,9%	6,3%	20,5%	0,0%	0,0%	32,0%	66,3%	90,9%	0,0%	0,0%	67,4%	79,2%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	60,7%	79,3%	40,5%	0,0%	0,0%	77,9%	33,3%	94,6%	88,9%	28,7%	48,3%	68,6%	68,4%	100,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 50. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A13

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	6	0,232	7	42	1,625	0,299	16,870	2,096	5,052
R 02	6	0,232	9	54	2,089	0,255	19,163	2,293	4,881
R 03	5	0,126	6	30	0,754	0,126	16,026	0,754	2,013
R 04	1	0,000	0	0	-	0,067	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,409	-	-	0
R 06	5	0,126	9	45	1,130	0,126	21,371	1,130	2,684
R 07	4	0,050	6	24	0,300	0,050	15,075	0,301	0,756
R 08	3	0,011	5	15	0,054	0,100	19,661	0,498	1,960
R 09	3	0,011	3	9	0,032	0,011	13,810	0,032	0,149
R 10	2	0,001	8	16	0,004	0,044	6,580	0,354	0,291
R 11	6	0,232	8	48	1,857	0,675	14,774	5,402	9,976
R 12	4	0,050	9	36	0,450	0,120	15,852	1,077	1,898
R 13	4	0,050	7	28	0,350	0,492	15,128	3,447	7,450
R 14	4	0,050	8	32	0,400	0,741	11,681	5,925	8,652
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 51. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A13

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			69,07188948
R 01	2,09603783	5,05151438	
R 02	2,29258894	4,88138037	
R 03	0,75356593	2,01279988	
R 06	1,13034889	2,68402887	
R 07	0,30106338	0,75643362	
R 08	0,49846212	1,96007888	
R 09	0,03231652	0,14875991	
R 10	0,3541656	0,29131664	
R 11	5,40200682	9,97627309	
R 12	1,07747389	1,89774843	
R 13	3,44704686	7,44972758	
R 14	5,92511958	8,65163148	

Tabla 52. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A13

A14. Evaluar y rehabilitar puntos críticos de intervención

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	3	0,011	7
R 02	3	0,011	7
R 03	5	0,126	9
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	5	0,126	7
R 07	4	0,050	6
R 08	3	0,011	3
R 09	5	0,126	9
R 10	3	0,011	8
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	4	0,050	7
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 53. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A14

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	34,1%	0,0%	0,0%	0,0%	76,3%	0,0%	70,5%	9,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	89,0%	0,0%	72,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	84,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	0,0%	0,0%
R 05	72,6%	29,4%	0,0%	0,0%	0,0%	6,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	42,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	67,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	27,9%	100,0%	0,0%	0,0%	37,4%	0,0%	0,0%
R 11	21,2%	5,1%	58,1%	0,0%	0,0%	56,8%	30,1%	23,5%	86,7%	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	57,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	86,0%	11,3%	39,2%	0,0%	0,0%	32,9%	80,4%	65,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	79,0%	77,4%	36,5%	0,0%	0,0%	88,4%	61,5%	86,8%	7,4%	50,6%	0,0%	0,0%	70,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 54. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A14

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	3	0,011	7	21	0,075	0,130	2,298	0,910	0,299
R 02	3	0,011	7	21	0,075	0,130	3,211	0,912	0,419
R 03	5	0,126	9	45	1,130	0,126	2,807	1,130	0,353
R 04	1	0,000	0	0	-	0,140	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,019	-	-	0
R 06	5	0,126	7	35	0,879	0,126	4,090	0,879	0,514
R 07	4	0,050	6	24	0,300	0,055	1,716	0,327	0,094
R 08	3	0,011	3	9	0,032	0,096	3,499	0,288	0,336
R 09	5	0,126	9	45	1,130	0,126	2,556	1,130	0,321
R 10	3	0,011	8	24	0,086	0,064	0,843	0,516	0,054
R 11	1	0,000	0	0	-	0,275	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	0,073	-	-	0
R 13	4	0,050	7	28	0,350	0,198	1,904	1,388	0,378
R 14	1	0,000	0	0	-	0,264	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 55. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A14

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			10,249
R 01	0,910	0,299	
R 02	0,912	0,419	
R 03	1,130	0,353	
R 06	0,879	0,514	
R 07	0,327	0,094	
R 08	0,288	0,336	
R 09	1,130	0,321	
R 10	0,516	0,054	
R 13	1,388	0,378	

Tabla 56. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A14

A15. Instalar señalización y bascula camionera en patio de acopio

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	5	0,126	6
R 02	3	0,011	6
R 03	4	0,050	5
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	2	0,001	4
R 07	3	0,011	4
R 08	4	0,050	5
R 09	3	0,011	3
R 10	3	0,011	8
R 11	2	0,001	2
R 12	1	0,000	0
R 13	2	0,001	6
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 57. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A15

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	75,3%	0,0%	0,0%	0,0%	15,6%	0,0%	3,6%	13,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	51,5%	0,0%	7,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,3%	0,0%	0,0%
R 05	73,8%	43,2%	0,0%	0,0%	0,0%	76,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	49,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	80,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	80,7%	100,0%	0,0%	0,0%	1,9%	0,0%	0,0%
R 11	28,2%	16,3%	69,6%	0,0%	0,0%	68,3%	87,2%	13,5%	81,4%	0,0%	100,0%	0,0%	57,4%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	36,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	83,4%	21,2%	41,6%	0,0%	0,0%	62,3%	6,9%	72,1%	0,0%	0,0%	51,7%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	14,2%	45,6%	6,0%	0,0%	0,0%	71,1%	74,0%	6,5%	46,5%	63,1%	5,4%	0,0%	12,9%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 58. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A15

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	5	0,126	6	30	0,754	0,137	2,013	0,822	0,276
R 02	3	0,011	6	18	0,065	0,015	2,102	0,090	0,031
R 03	4	0,050	5	20	0,250	0,050	1,892	0,250	0,095
R 04	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,098	-	-	0
R 06	2	0,001	4	8	0,002	0,001	2,104	0,002	0,001
R 07	3	0,011	4	12	0,043	0,016	1,255	0,064	0,020
R 08	4	0,050	5	20	0,250	0,090	2,554	0,452	0,231
R 09	3	0,011	3	9	0,032	0,011	1,206	0,032	0,013
R 10	3	0,011	8	24	0,086	0,019	0,220	0,156	0,004
R 11	2	0,001	2	4	0,001	0,098	1,190	0,196	0,117
R 12	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 13	2	0,001	6	12	0,003	0,166	1,346	0,994	0,223
R 14	1	0,000	0	0	-	0,049	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 59. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A15

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			4,070
R 01	0,822	0,276	
R 02	0,090	0,031	
R 03	0,250	0,095	
R 06	0,002	0,001	
R 07	0,064	0,020	
R 08	0,452	0,231	
R 09	0,032	0,013	
R 10	0,156	0,004	
R 11	0,196	0,117	
R 13	0,994	0,223	

Tabla 60. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A15

A16. Realizar limpieza y carpet para acopio de carbón

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	3	0,011	6
R 02	3	0,011	6
R 03	4	0,050	3
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	4	0,050	7
R 07	3	0,011	4
R 08	2	0,001	3
R 09	4	0,050	3
R 10	3	0,011	8
R 11	3	0,011	3
R 12	3	0,011	4
R 13	4	0,050	6
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 61. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A16

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	98,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	19,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	67,9%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	31,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,9%	0,0%	0,0%
R 05	9,5%	58,1%	0,0%	0,0%	0,0%	66,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	70,1%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	57,6%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	59,3%	59,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,6%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,4%	30,9%	9,9%	43,8%	100,0%	0,0%	0,0%	72,4%	0,0%	0,0%
R 11	60,0%	21,1%	91,1%	0,0%	0,0%	81,4%	76,8%	3,1%	88,2%	27,9%	100,0%	0,0%	90,6%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	27,5%	41,0%	6,6%	0,0%	0,0%	55,4%	40,7%	40,7%	31,2%	49,0%	36,3%	76,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	57,7%	76,9%	30,4%	0,0%	0,0%	75,0%	15,8%	35,3%	7,2%	82,8%	86,5%	40,6%	15,7%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 62. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A16

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	3	0,011	6	18	0,065	0,022	1,613	0,129	0,035
R 02	3	0,011	6	18	0,065	0,018	1,613	0,109	0,029
R 03	4	0,050	3	12	0,150	0,050	2,164	0,150	0,108
R 04	1	0,000	0	0	-	0,036	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,040	-	-	0
R 06	4	0,050	7	28	0,350	0,091	2,616	0,639	0,239
R 07	3	0,011	4	12	0,043	0,047	2,158	0,187	0,101
R 08	2	0,001	3	6	0,002	0,002	2,215	0,007	0,005
R 09	4	0,050	3	12	0,150	0,050	2,308	0,150	0,115
R 10	3	0,011	8	24	0,086	0,074	2,158	0,596	0,161
R 11	3	0,011	3	9	0,032	0,206	1,375	0,619	0,284
R 12	3	0,011	4	12	0,043	0,011	1,438	0,043	0,015
R 13	4	0,050	6	24	0,300	0,126	1,971	0,756	0,248
R 14	1	0,000	0	0	-	0,103	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 63. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A16

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			4,725
R 01	0,129	0,035	
R 02	0,109	0,029	
R 03	0,150	0,108	
R 06	0,639	0,239	
R 07	0,187	0,101	
R 08	0,007	0,005	
R 09	0,150	0,115	
R 10	0,596	0,161	
R 11	0,619	0,284	
R 12	0,043	0,015	
R 13	0,756	0,248	

Tabla 64. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A16

A17. Adecuar zona administrativa e instalar servicios públicos

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	3	0,011	6
R 02	2	0,001	6
R 03	4	0,050	7
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	4	0,050	4
R 07	4	0,050	5
R 08	3	0,011	4
R 09	1	0,000	0
R 10	3	0,011	8
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	1	0,000	0
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 65. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A17

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	72,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	54,9%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	52,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	89,1%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	61,0%	0,0%	7,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	5,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	39,2%	0,0%	0,0%	70,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,1%	37,3%	89,9%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	51,3%	24,8%	84,8%	0,0%	0,0%	78,4%	72,3%	81,5%	0,0%	73,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	79,6%	31,1%	85,4%	0,0%	0,0%	9,0%	26,8%	32,1%	0,0%	38,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 14	83,7%	12,8%	46,9%	0,0%	0,0%	81,2%	18,4%	0,3%	0,0%	86,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 66. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A17

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	3	0,011	6	18	0,065	0,011	0,105	0,067	0,001
R 02	2	0,001	6	12	0,003	0,006	0,105	0,038	0,001
R 03	4	0,050	7	28	0,350	0,050	0,782	0,350	0,039
R 04	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,026	-	-	0
R 06	4	0,050	4	16	0,200	0,095	0,704	0,378	0,067
R 07	4	0,050	5	20	0,250	0,057	0,613	0,287	0,035
R 08	3	0,011	4	12	0,043	0,013	0,666	0,053	0,009
R 09	1	0,000	0	0	-	0,027	-	-	0
R 10	3	0,011	8	24	0,086	0,041	0,613	0,325	0,025
R 11	1	0,000	0	0	-	0,140	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 13	1	0,000	0	0	-	0,077	-	-	0
R 14	1	0,000	0	0	-	0,092	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 67. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A17

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			1,676
R 01	0,067	0,001	
R 02	0,038	0,001	
R 03	0,350	0,039	
R 06	0,378	0,067	
R 07	0,287	0,035	
R 08	0,053	0,009	
R 10	0,325	0,025	

Tabla 68. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A17

A18. Realizar obras ambientales PMA

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	4	0,050	6
R 02	4	0,050	6
R 03	5	0,126	8
R 04	1	0,000	0
R 05	5	0,126	9
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	1	0,000	0
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 69. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A18

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	71,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	59,6%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	31,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	46,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	36,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	26,1%	0,0%	66,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	74,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	73,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 11	22,7%	25,4%	45,4%	0,0%	46,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	47,9%	38,7%	2,5%	0,0%	47,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 14	70,0%	12,1%	57,0%	0,0%	73,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 70. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A18

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	4	0,050	6	24	0,300	0,086	0,993	0,514	0,085
R 02	4	0,050	6	24	0,300	0,080	0,993	0,479	0,079
R 03	5	0,126	8	40	1,005	0,126	1,005	1,005	0,126
R 04	1	0,000	0	0	-	0,040	-	-	0
R 05	5	0,126	9	45	1,130	0,126	1,130	1,130	0,142
R 06	1	0,000	0	0	-	0,058	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	0,046	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	0,116	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	0,093	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	0,092	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,139	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 13	1	0,000	0	0	-	0,106	-	-	0
R 14	1	0,000	0	0	-	0,205	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 71. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A18

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			3,560
R 01	0,514	0,085	
R 02	0,479	0,079	
R 03	1,005	0,126	
R 05	1,130	0,142	

Tabla 72. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A18

A19. Consolidación de producto en patio de acopio

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	3	0,011	6
R 02	6	0,232	8
R 03	4	0,050	7
R 04	1	0,000	0
R 05	5	0,126	9
R 06	1	0,000	0
R 07	3	0,011	5
R 08	4	0,050	7
R 09	4	0,050	6
R 10	3	0,011	9
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	4	0,050	6
R 14	1	0,000	0
R 15	1	0,000	0

Tabla 73. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A19

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	100,0%	4,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	75,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	38,1%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	47,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	51,8%	0,0%	0,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	93,9%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	99,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	67,3%	7,9%	0,0%	100,0%	0,0%	42,5%	74,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 08	0,0%	0,0%	82,6%	0,2%	51,7%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,7%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	77,6%	89,5%	0,0%	56,5%	14,3%	1,3%	100,0%	0,0%	0,0%	5,3%	0,0%	0,0%
R 11	34,9%	38,3%	56,3%	29,7%	59,5%	0,0%	78,4%	76,4%	51,5%	43,2%	0,0%	0,0%	77,2%	0,0%	0,0%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	55,9%	92,6%	83,6%	46,7%	72,6%	0,0%	71,5%	71,7%	3,9%	13,8%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
R 14	10,2%	81,9%	33,0%	6,2%	69,4%	0,0%	2,9%	38,9%	80,8%	25,3%	0,0%	0,0%	67,8%	0,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 74. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A19

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	3	0,011	6	18	0,065	0,059	4,971	0,351	0,291
R 02	6	0,232	8	48	1,857	0,239	4,971	1,914	1,189
R 03	4	0,050	7	28	0,350	0,050	4,149	0,350	0,207
R 04	1	0,000	0	0	-	0,085	6,437	-	0,549
R 05	5	0,126	9	45	1,130	0,126	5,860	1,130	0,736
R 06	1	0,000	0	0	-	0,050	-	-	0
R 07	3	0,011	5	15	0,054	0,050	4,213	0,250	0,211
R 08	4	0,050	7	28	0,350	0,156	7,322	1,094	1,144
R 09	4	0,050	6	24	0,300	0,092	4,767	0,554	0,440
R 10	3	0,011	9	27	0,097	0,140	4,213	1,257	0,589
R 11	1	0,000	0	0	-	0,311	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 13	4	0,050	6	24	0,300	0,451	3,963	2,706	1,787
R 14	1	0,000	0	0	-	0,392	-	-	0
R 15	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0

Tabla 75. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A19

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			17,316
R 01	0,351	0,291	
R 02	1,914	1,189	
R 03	0,350	0,207	
R 04	0,341	0,578	
R 05	1,130	0,779	
R 07	0,250	0,211	
R 08	1,094	1,144	
R 09	0,554	0,440	
R 10	1,257	0,589	
R 13	2,706	1,941	

Tabla 76. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A19

A20. Venta de carbón metalúrgico al cliente en patio de acopio

RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA
R 01	1	0,000	0
R 02	1	0,000	0
R 03	1	0,000	0
R 04	1	0,000	0
R 05	1	0,000	0
R 06	1	0,000	0
R 07	1	0,000	0
R 08	1	0,000	0
R 09	1	0,000	0
R 10	1	0,000	0
R 11	1	0,000	0
R 12	1	0,000	0
R 13	1	0,000	0
R 14	4	0,050	8
R 15	6	0,232	9

Tabla 77. Probabilidad cualitativa e impacto de cada riesgo asociado a la actividad A20

	R 01	R 02	R 03	R 04	R 05	R 06	R 07	R 08	R 09	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
R 01	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 02	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 03	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	56,0%
R 05	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 07	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	39,1%
R 08	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,4%
R 09	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	37,2%	49,7%
R 11	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	64,8%	25,1%
R 12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R 13	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	78,0%	33,1%
R 14	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
R 15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Tabla 78. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos subsecuentes de la A20

	RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR EL MÉTODO CLÁSICO					RESULTADOS RE-EVALUADOS POR SIMULACIÓN			
RISK ID	PROBABILIDAD CUALITATIVA	PROBABILIDAD ESPONTANEA	IMPACTO CUALITATIVO	CRITICIDAD CUALITATIVA	CRITICIDAD EVALUADA	FRECUENCIA ESTADÍSTICA	CONSECUENCIAS DEL RIESGO (CALCULADO)	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL
	EVALUADA	ECUACIÓN 1	EVALUADA	QP*QI	SP*QI		ECUACIÓN 4	ECUACIÓN 5	ECUACIÓN 6
R 01	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 02	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 03	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 04	1	0,000	0	0	-	0,130	-	-	0
R 05	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 06	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 07	1	0,000	0	0	-	0,091	-	-	0
R 08	1	0,000	0	0	-	0,006	-	-	0
R 09	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 10	1	0,000	0	0	-	0,134	-	-	0
R 11	1	0,000	0	0	-	0,091	-	-	0
R 12	1	0,000	0	0	-	0,000	-	-	0
R 13	1	0,000	0	0	-	0,116	-	-	0
R 14	4	0,050	8	32	0,400	0,050	0,400	0,400	0,020
R 15	6	0,232	9	54	2,089	0,232	2,089	2,089	0,485

Tabla 79. Cálculos de la criticidad local de los riesgos asociados a la A20

RISK ID	CRITICIDAD SIMULADA LOCAL	CRITICIDAD SIMULADA GLOBAL	Criticidad total asociada a los riesgos de la actividad
			2,993
R 14	0,4	0,02	
R 15	2,089	0,485	

Tabla 80. Resumen de la criticidad total asociada a los riesgos de la A20