

**IMPLEMENTACIÓN DEL MAPA DE RUTA PARA LA ADAPTACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO
AL CAMBIO CLIMÁTICO (INCLUYENDO EL USO DE LA HERRAMIENTA DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS) E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR
MINERO Y DE LÍNEAS GRUESAS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN**

**Resumen de Principales Resultados en Materia de Adaptación del Sector Minero al Cambio y la
Variabilidad Climática**



Elaborado para:



Elaborado por:




Bogotá, D.C.
Diciembre de 2015

**IMPLEMENTACIÓN DEL MAPA DE RUTA PARA LA ADAPTACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO
AL CAMBIO CLIMÁTICO (INCLUYENDO EL USO DE LA HERRAMIENTA DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS) E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR
MINERO Y DE LÍNEAS GRUESAS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN**

**Resumen de Principales Resultados en Materia de Adaptación del Sector Minero al Cambio y la
Variabilidad Climática**

Hoja de Control

Ambiental Consultores & Cía. Ltda., ACON, miembro Grupo INERCO

Versión: 01	Elaboró:	Revisó:	Aprobó:	Fecha aprobación: 02 de diciembre de 2015
	Ambiental Consultores y Cía. Ltda. 	Helga Lahmann	Rodrigo Jiliberto	
	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	

En la preparación de este resumen Metodología, Ambiental Consultores & Cía. Ltda. - Miembro Grupo INERCO, utilizó la información provista por consultores especializados, autoridades nacionales y regionales; así como de otras fuentes no gubernamentales, y realizó la verificación de la información que su conocimiento y experiencia le permitió.

Esta metodología, ha sido preparada por Ambiental Consultores & Cía. Ltda. - Miembro Grupo INERCO con un conocimiento razonable, el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del contrato con la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME.

Anotaciones:

Equipo Técnico:

Rodrigo Jiliberto – Economista, Msc. Desarrollo Económico - Director de Proyecto

Helga Lahmann –Economista, Msc. Gestión Ambiental - Coordinadora del Proyecto

Jairo Herrera – Especialista en Minería

Alejandro Logreira – Especialista en Hidrología

Edwin Amaya – Especialista en Geotecnia

Andrea Cantillo – Profesional de Apoyo

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y MINERÍA A NIVEL GLOBAL	2
2. CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMATICA: EFECTOS EN LA MINERÍA	4
2.1 Incremento de precipitaciones.....	4
2.1.1 Inundaciones.....	4
2.1.2 Remoción en masa y erosión	6
2.1.3 Efectos del comportamiento volumétrico del suelo	7
2.2 Disminución de las precipitaciones	7
2.3 Aumento de temperatura	8
3. TIPOLOGÍA DE EFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICO EN LA INDUSTRIA MINERA	10
3.1 Incremento en la accidentalidad y deterioro de la salud y la higiene laboral	10
3.2 Incremento de emisiones contaminantes (agua, atmósfera, suelo)	10
3.3 Rotura cadena suministro insumos materiales y energéticos	11
3.4 Daños a infraestructuras	11
3.5 Daño maquinarias.....	12
3.6 Bloqueo de las actividades productivas, transporte y comercialización	12
3.7 Afectación servicios públicos.....	12
3.8 Afectación a planificación productiva	13
3.9 Afectación a gobernabilidad	13
3.10 Efectos sociales	13
3.11 Efectos financieros.....	14
3.12 Efectos inducidos por efectos del cambio y la variabilidad climática en el exterior	14
4. ADAPTACIÓN AL CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMATICA EN LA INDUSTRIA MINERA A NIVEL GLOBAL.....	16
4.1 Situación global	16
4.2 Situación en Latinoamérica	17
4.3 Enfoques corporativos de la adaptación	18

4.4	Lecciones aprendidas sobre adaptación climática en la industria global	19
5.	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y VULNERABILIDAD DE LA MINERÍA AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	22
5.1	Fundamento metodológico	22
5.2	Conceptos Básicos	23
5.2.1	Objetivo del análisis de riesgo y vulnerabilidad: el Sistema Minero	23
5.2.2	Tipología del riesgo: Riesgos operativos y estructurales	27
5.2.3	Horizontes temporales.....	28
5.2.4	Función de riesgo	29
5.3	Eventos y Subeventos Derivados del Cambio y la Variabilidad Climática Pertinentes para el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo de la Minería	30
5.3.1	Proyecciones de cambio climático y variabilidad climática.....	31
5.3.2	Subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática	34
5.3.3	Subeventos y variabilidad climática relevantes para el análisis de la vulnerabilidad y riesgo de la minería en Colombia.....	35
5.4	Secuencia Metodológica.....	39
5.4.1	Identificación y caracterización de eventos y subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática en el área de análisis.....	44
6.	CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO A SUBEVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	47
7.	REVISIÓN DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL TERRITORIO ANTE SUBEVENTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	48
8.	IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS AL SISTEMA MINERO	49
9.	VISITA DE CAMPO AL ÁREA DE ANÁLISIS	52
10.	VALORACIÓN DE LAS AMENAZAS IDENTIFICADAS	53
11.	ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA MINERO	55
12.	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA MINERO	56
13.	CÁLCULO DEL RIESGO	59
14.	LÍNEAS ESTRATEGIAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LA MINERÍA AL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN COLOMBIA.....	60
14.1	Línea estratégica 1. Concientizar al sector minero sobre la importancia de la adaptación al cambio climático	61

14.2	Línea estratégica 2. Generar información y conocimiento para evaluar el riesgo climático en los distritos mineros.....	61
14.3	Línea estratégica 3. Planificar el uso del territorio minero bajo criterios de adaptación climática	61
14.4	Línea estratégica 4. Implementar medidas de adaptación incremental para el sistema minero	62
14.5	Línea estratégica 5. Fortalecer las capacidades de resiliencia y reacción en los sistemas mineros.....	62
14.6	Estrategias de adaptación para el sistema minero	62
14.6.1	Con base en la línea estratégica 1	62
14.6.2	De la Línea estratégica 2.....	63
14.6.3	Para la Línea estratégica 3	64
14.6.4	Con base en la Línea estratégica 4	65
14.6.5	De la Línea estratégica 5.....	66
14.7	Esquema para el diseño de grandes líneas y medidas de adaptación de la minería al cambio climático en el marco de un plan sectorial de adaptación	69
15.	CASO PILOTO: APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DE LA MINERÍA ANTE EL CAMBIO Y LA VULNERABILIDAD CLIMÁTICA	71
15.1	El área de análisis	71
15.2	Caracterización del sistema minero del área de Ubaté	72
15.3	Estimaciones de eventos derivados del cambio y la variabilidad climática en el área de análisis	76
15.4	Estimación de subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática en el área de análisis	78
15.4.1	Conclusiones sobre subeventos del cambio y variabilidad climática en el área de análisis	83
15.5	Estimación de amenazas directas	85
15.6	Estimación de Amenazas Indirectas	87
15.6.1	Componente administrativo y financiero.....	87
15.6.2	Componente recursos humanos.....	88
15.6.3	Componente cadena de suministro.....	88
15.6.4	Componente beneficio y transformación	88

15.6.5	Componente gestión ambiental	88
15.6.6	Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	89
15.7	Valoración de las amenazas directas e indirectas	89
15.7.1	1.ª Cadena de amenazas.....	89
15.7.2	2.ª Cadena de amenazas.....	89
15.7.3	3.ª Cadena de amenazas.....	90
15.7.4	4.ª Cadena de amenazas.....	90
15.7.5	5.ª Cadena de amenazas.....	90
15.7.6	6.ª Cadena de amenazas.....	91
15.7.7	7ª Cadena de amenazas:.....	91
15.7.8	8ª Cadena de amenazas:.....	91
15.7.9	9ª Cadena de amenazas:.....	91
15.7.10	10º Cadena de amenazas.....	92
15.7.11	11º Cadena de amenazas.....	92
15.7.12	12º Cadena de amenazas.....	92
15.7.13	13º Cadena de amenazas.....	93
15.8	Cálculo de riesgos.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....		101

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5-1 Resumen Eventos amenazantes relevantes para el análisis de la vulnerabilidad del sector minero al cambio y la variabilidad climática	39
Tabla 10-1 Escala para definir el potencial de daño de la amenaza	53
Tabla 10-2 Escala para definir la gravedad de la amenaza	54
Tabla 12-1 Criterios para la determinación de la sensibilidad del sistema minero.....	57
Tabla 12-2 Criterios para caracterizar la capacidad de adaptación del sistema minero	58
Tabla 12-3 Escala para determinar índice de vulnerabilidad	58
Tabla 13-1 Índice de riesgo	59
Tabla 14-1 Líneas estratégicas, estrategias y objetivos para la adaptación de los sistemas mineros colombianos	68
Tabla 15-1 Matriz de amenazas directas.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 14-1 Modelo de definición de Plan de Adaptación al Cambio y la Variabilidad Climática de un Sistema Minero	69
Figura 15-1 Provincia de Ubaté.....	72
Figura 15-2 Cambio precipitación Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100).....	78
Figura 15-3 Cambio temperatura Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100).....	78
Figura 15-4 Inventario de eventos reportados.....	83

IMPLEMENTACIÓN DEL MAPA DE RUTA PARA LA ADAPTACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO AL CAMBIO CLIMÁTICO (INCLUYENDO EL USO DE LA HERRAMIENTA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS) E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR MINERO Y DE LÍNEAS GRUESAS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Resumen de Principales Resultados en Materia de Adaptación del Sector Minero al Cambio y la Variabilidad Climática

INTRODUCCIÓN

Este documento se enmarca en el desarrollo del contrato de Consultoría No C-314484-003-2015 celebrado entre Ambiental Consultores y Cía. Ltda. (ACON) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), proyecto denominado *Implementación del Mapa de Ruta para la Adaptación del Sector Energético al Cambio Climático (Incluyendo el Uso de la Herramienta de Servicios Ecosistémicos) e Identificación de Factores de Vulnerabilidad del Sector Minero y de Líneas Gruesas de Medidas de Adaptación*.

Su propósito es presentar un resumen ejecutivo de los resultados obtenidos en el referido contrato relacionados con el sector minero que consiste en:

- Identificar los factores de vulnerabilidad y riesgo relacionados con la variabilidad climática y el cambio climático y adelantar un primer análisis cualitativo de vulnerabilidad.
- Formular una metodología para estimar la vulnerabilidad y los riesgos al cambio climático para los tipos de minería analizados.
- Identificar líneas gruesas de medidas preliminares de adaptación particulares a la realidad y prospectivas del ciclo de proyectos (exploración, construcción y montaje, explotación - incluyendo transporte, cierre y post-cierre) de la minería en Colombia.

El documento se estructura en siete capítulos. En los primeros cuatro capítulos se da a conocer la interacción que existe entre el cambio y la variabilidad climáticos con la minería. En el capítulo cinco se presenta una metodología para el análisis de la vulnerabilidad de la minería a estos dos eventos, procediendo en el siguiente capítulo a presentar las líneas estratégicas para la adaptación. Por último se presenta un caso piloto en el cual se aplicó la metodología mencionada.

1. CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y MINERÍA A NIVEL GLOBAL

El incremento de los eventos climáticos extremos en los últimos años ha demostrado que los efectos físicos del cambio climático afectan cada uno de los eslabones productivos del negocio minero, además de sus activos y su disponibilidad de recursos (Gardiner, 2012).

La vulnerabilidad ante fenómenos climáticos afecta a todos los sectores económicos y todos se enfrentan a la posibilidad de daños en infraestructura, interrupciones productivas y fallas en servicios públicos (Sussman & Freed, 2008, pág. 7). En especial para la industria extractiva las amenazas relacionadas con eventos extremos superan el riesgo físico e incluyen nuevas regulaciones, comercio de emisiones, cambios de actitud en los inversionistas y los consumidores, evolución de los mercados e innovaciones y adaptación de los competidores.

Una investigación sobre perspectivas de la industria indicaba en 2010 que lo anterior ya era una preocupación emergente para la industria minera aunque las acciones tomadas para planificar o adaptarse eran muy limitadas (Ford, y otros, 2010).

Las regiones mineras de todo el mundo han reportado algún obstáculo climático en los últimos 10 años y se espera que a futuro el suministro de minerales sea impactado con mayor intensidad por el incremento en frecuencia y severidad de los eventos climáticos extremos, lo que se sumará a variaciones en la oferta y demanda de agua. Para Steffen (2013) la incertidumbre inherente a la predicción meteorológica acrecienta la vulnerabilidad.

La industria extractiva ha verificado la intensificación de los impactos producidos por los fenómenos amenazantes asociados al riesgo climático como cierres de operaciones mineras y daños en las vías por inundaciones, afectación en la integridad de la infraestructura de portuaria y retraso en las entregas por elevación del nivel del mar, afectación de la fuerza laboral por oleadas de calor, efectos en la licencia social de operación por reducción en los pagos a gobiernos locales y nacionales (Loechel, Mining companies are underprepared for climate change, 2013).

Las inundaciones sufridas por la industria minera australiana en los periodos invernales de 2007 – 2008 y 2010 – 2011 mostraron el grado de vulnerabilidad de la industria y brindaron el aliciente para iniciar un lento cambio en la mentalidad del sector extractivo frente a los impactos a largo plazo (Sharma, van de Graaff, Loechel, & Franks, 2013).

Los impactos producidos por eventos extremos no siempre son fáciles de determinar y con el tiempo pueden interactuar entre sí originando eventos complejos de segundo orden con mayor grado de dificultad en su anticipación y gestión, en especial en ausencia de experiencia, previsión

y conocimiento del contexto local. No obstante, algunos de estos impactos representan oportunidades para mejorar el aporte de la minería al desarrollo sostenible local y regional (Sharma, van de Graaff, Loechel, & Franks, 2013 b, pág. 55).

Las implicaciones del cambio climático exceden los efectos directos del clima sobre la infraestructura y las operaciones, por lo que su análisis debe ser un componente integral en la planificación a largo plazo. Las empresas con liderazgo mundial en la industria extractiva han comenzado a considerar los riesgos climáticos en sus evaluaciones de gestión de riesgos corporativos que incluyen el cumplimiento de regulaciones potenciales, la percepción de los accionistas y los clientes y el control de gases de efecto invernadero.

La incertidumbre de las proyecciones futuras y la naturaleza de los cambios a largo plazo son los argumentos de la mayoría de compañías mineras para posponer la inclusión del riesgo climático en sus procesos de toma de decisión, a pesar de la creciente presión ejercida por los accionistas, los reguladores y los consumidores. Adicionalmente, muchos técnicos no reconocen aún que, bajo las condiciones actuales, el pasado no necesariamente es el mejor predictor de clima futuro.

Este sector de la industria es uno de los más expuestos a los efectos físicos del cambio climático debido a que enfrenta decisiones importantes de inversión de capital en terrenos, infraestructura y equipos a largo plazo, todos sometidos de forma permanente a las condiciones climáticas. Aunque los riesgos no estén distribuidos geográficamente de manera uniforme siempre pesarán sobre las empresas mineras y su cadena de valor las amenazas asociadas a eventos extremos, tales como: lluvias torrenciales, inundaciones, sequías, incendios forestales, deslizamientos, daños en sistemas de transporte que afectan el suministro de insumos y la distribución de productos, entre otros.

La industria extractiva global ha verificado la intensificación de los efectos producidos por los fenómenos amenazantes asociados al riesgo climático como cierres de operaciones mineras, daños en las vías y los puertos por inundaciones, retrasos en las entregas asociados con la elevación del nivel del mar, afectación del recurso humano por oleadas de calor y afectación sobre la licencia social de operación por contingencias climáticas (Loechel, Mining companies are underprepared for climate change, 2013).

El uso del agua es ubicuo en el proceso minero, desde las perforaciones hasta el procesamiento, el beneficio, la transformación y el control de material particulado, así que la reducción en la disponibilidad hídrica debido al cambio climático representa una de las principales amenazas que podría forzar al cierre temporal o permanente de las operaciones o impactar sobre las oportunidades de inversión relacionadas con una minería eficiente.

2. CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA: EFECTOS EN LA MINERÍA

2.1 Incremento de precipitaciones

Para IDEAM (2015, pág. 15) las zonas más afectadas por aumento de precipitación media anual entre 10 % y 30 % serán Nariño, Cauca, Huila, Tolima, Eje Cafetero, Antioquia occidental, norte de Cundinamarca y centro de Boyacá. Estas regiones aportaron en 2014 el 14 % (7,9 toneladas) de la producción aurífera nacional y el 51 % (3,5 millones de toneladas) del carbón de la región andina. La minería existente en estas regiones está expuesta a fenómenos por aumento de precipitaciones, tanto en zonas de montaña como en los extensos valles aluviales de la región Pacífica y las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena.

Entre 2005 y 2014, la autoridad minera reportó un total de 749 accidentes en operaciones mineras nacionales, de estos 334 (44,6 %) correspondieron a eventos relacionados con fuertes precipitaciones: 265 derrumbes, 29 caídas, 21 deslizamientos y 19 inundaciones (ANM, 2015). Una revisión rápida a los datos suministrados por la Agencia Nacional de Minería (ANM), se indica que el 52,7 % de estos accidentes asociados con precipitaciones ocurrieron bajo el fenómeno de La Niña, el 21% en año del Niño y 26,3% en año normal.

Algunos de los posibles efectos por incremento de precipitación sobre la infraestructura incluyen inestabilidad de taludes, desbordamiento de vertidos líquidos, deterioro de vías y tanques, entre otros. Las afectaciones más comunes estarán basadas esencialmente en los siguientes eventos.

2.1.1 Inundaciones

El IDEAM ha proyectado un incremento en la precipitación en Chocó, Amazonas, Vaupés, Guainía y Vichada. De esta manera, se espera que Chocó continúe súper húmedo, Amazonas húmedo y los Llanos Orientales semihúmedos.

Durante la llamada Ola Invernal 2010 – 2011, se presentaron serias afectaciones a la producción minera nacional, en especial para el carbón cuya meta de producción en 2010, no pudo cumplirse obligando a las compañías a aplazar las entregas internacionales para 2011 y declarando fuerza mayor (Kimball, 2011) y, en particular, para las minas carboneras del Cesar donde Drummond reportó que dejó de extraer dos millones de toneladas de carbón (Arrieta, 2011) y (Corficolombiana, 2012). Por su parte, Prodeco S.A. (2011) debió construir un canal de derivación del río Maracas al arroyo Caimancito con el fin de trasvasar las aguas de la creciente que amenazaban con inundar la mina (ANLA, 2012) al tiempo que no pudo incrementar su producción con respecto a 2009 según el plan de expansión (Prodeco, 2011).

Durante este mismo período, la Secretaría de Minas y Energía del departamento de Norte de Santander reportó retrasos en las reparaciones de las vías terciarias para el carbón y suspensión en algunas operaciones mineras (Gobernación de Norte de Santander, 2011).

El ritmo de producción minera nacional se redujo durante 2010 debido a que la maquinaria de extracción operó de manera más lenta por el estado del tiempo. El valor bruto no producido debido al invierno de 2010 se estimó en COP\$608 mil millones (CEPAL, 2012, pág. 181).

En el ámbito internacional, las inundaciones ocasionadas por el ciclón Yasi de 2011 cerraron el 85 % de las minas de carbón en Queensland (Australia), con pérdidas por USD \$2.500 millones y, dos años después, a finales de 2013 aún no había sido posible cumplir con los contratos de entrega de las minas de BHP Billiton, Río Tinto, Anglo American, Xstrata, Peabody Energy, Macarthur, Aquila Resources, Vale, Cockatoo y Wesfarmers que habían declarado fuerza mayor (Smith, 2013).

Tres subeventos asociados con las inundaciones resaltan para la industria minera:

- Filtraciones. El aumento de las lluvias incrementará los caudales de flujos superficiales y subsuperficiales. Bajo estas condiciones el bombeo requerido será mayor y elevará la amenaza para la producción y exigirá más a los sistemas de tratamiento de aguas vertidas y a las redes eléctricas locales.
- El incremento en las filtraciones subsuperficiales a través de los depósitos cuaternarios ubicados principalmente en los primeros metros del túnel y las zonas de fractura cortadas por los túneles podrán afectar los sistemas de fortificación amenazando la estabilidad de la operación.
- Desbordamientos de los ríos por crecientes súbitas y avenidas torrenciales. Las áreas mineras aluviales están ubicadas en las llanuras de inundación de las cuencas que drenan áreas identificadas por el IDEAM (2015) como zonas con posibilidad de aumento de precipitaciones. Las principales afectaciones relacionadas serán inundaciones de tajos mineros por desbordamiento, inestabilidad de taludes de los tajos y elevación de niveles de los ríos inhabilitando las dragas de succión por distancia al lecho. En zonas con pendientes mayores, la torrencialidad de las corrientes representará amenazas de erosión sobre la infraestructura minera y de transporte.
- Encharcamientos. La falta de sistemas de avenamiento en las regiones con minería aluvial causará prolongados tiempos de residencia de las aguas de precipitación o desbordamientos. Esta condición tendrá mayor afectación en áreas mineras aluviales del litoral Pacífico.

2.1.2 Remoción en masa y erosión

Las temporadas invernales pasadas han mostrado la ocurrencia frecuente de múltiples fenómenos de remoción en masa y erosión afectando la infraestructura de transporte, el acceso de suministros a ciertas regiones, los servicios públicos y las operaciones mineras.

Es una condición generalizada en el país que con el incremento de lluvias se activen procesos erosivos que afectan el acceso a agua potable tanto en áreas rurales como urbanas y el cierre por largas temporadas de vías por las que se transportan productos mineros. Las vías Bogotá - Honda (carbón y materiales de construcción) y Bogotá – Villavicencio (materiales de construcción) son algunos ejemplos de los efectos que tienen estos procesos sobre la industria minera nacional.

De acuerdo con las afectaciones se identificaron seis subeventos:

- Deslizamientos. Las temporadas invernales anteriores han activado deslizamientos que causaron el cierre por largas temporadas de vías por las que se transportan productos mineros como Bogotá - Honda (carbón y materiales de construcción) y Bogotá – Villavicencio (materiales de construcción).
- El tren que comunica Bogotá con Belencito (Boyacá) por el que se movilizaba cemento hacia Bogotá cesó sus operaciones después de las afectaciones por deslizamientos entre 2010 y 2011.
- Desprendimiento de rocas. La humectación y la presión hidrostática asociadas a los períodos invernales facilitan el desprendimiento y la caída de rocas en los techos de los túneles, en los taludes de las minas a cielo abierto y en las vías de transporte.
- Flujos de tierra, escombros o lodo. Los aportes hídricos sobre áreas susceptibles de sufrir este tipo de procesos pueden llegar a afectar áreas extensas incluyendo trayectos de vías de comunicación. Aunque no corresponden con casos relacionados con áreas mineras, los flujos recientes más representativos corresponden al barrio La Gabriela en el municipio de Bello (Antioquia) y al municipio de Gramalote (Norte de Santander), ambos ocurridos en 2010. En igual sentido, el exceso hídrico puede llevar a que la roca dentro de los túneles fluya afectando la operación.
- Hundimientos. Dentro de estos procesos se incluye la subsidencia por sobrecarga hidrostática en zonas mineras como las registradas en Angelópolis y Amagá en Antioquia, donde la presión hidrostática sobre techos de minas poco técnicas abandonadas ha producido hundimientos en áreas urbanas (Escobar, M., 2004).
- Carcavamiento. La erosión concentrada es una gran fuente de sedimentos que al alcanzar las corrientes hídricas colmata los canales y contamina los acueductos. Aunque no existen estudios en Colombia sobre el impacto de este tipo de erosión sobre la minería, las pérdidas

relacionadas en la producción de oro, plata y platino en Sudáfrica han sido documentadas (Naidoo, K. & Handley, M.F., 2002).

- Erosión superficial, subsuperficial y fluvial. Estos procesos erosivos debilitan las laderas, incrementan la producción de sedimentos facilitando procesos de inundación y desbordamiento por pérdida en la capacidad de los canales fluviales obligando a su continuo dragado si se desean utilizar para el transporte.

2.1.3 Efectos del comportamiento volumétrico del suelo

El incremento en las filtraciones subsuperficiales a través de los depósitos cuaternarios ubicados principalmente en los primeros metros de las minas subterráneas y las zonas de fractura cortadas por los túneles podrán afectar los sistemas de fortificación amenazando la estabilidad de la operación.

- Respuesta de arcillas expansivas. Estos materiales generan condiciones altamente cambiantes en las superficies libres como levantamiento por hidratación y hundimiento por deshidratación causando deformaciones del terreno que pueden afectar la infraestructura o los sistemas de fortificación de las minas.
- Pérdida de compactación del terreno. El exceso de agua puede conducir al debilitamiento de los cimientos de las estructuras mineras o de transmisión eléctrica rural. Adicionalmente, los terraplenes construidos para proteger las vías pueden verse afectados restringiendo el acceso de suministros o la comercialización de productos mineros.

2.2 Disminución de las precipitaciones

En el mismo informe ofrecido por el IDEAM, se indica que cerca del 27 % del país podrá registrar reducciones entre 10 % y 30 % en la precipitación media anual, entre los que se encuentran los departamentos de Bolívar, Magdalena, Sucre y norte del Cesar, todos ellos de fuerte tradición minera aurífera, carbonera y de materiales de construcción.

- Sequía. Con base en los escenarios climáticos modelados por el IDEAM (2015), se espera disminución en la precipitación media anual en dos sectores: el primero al norte conformado por Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico y Magdalena; y el segundo hacia el centro y sur compuesto por Nariño, Cauca, Huila, Tolima, Cundinamarca, Risaralda y Caldas. Durante la fuerte sequía que afectó a La Guajira en 2014, la empresa Cerrejón reportó que ante la falta de agua requerida para reducir la contaminación fue necesaria “la disminución de operación, bajar equipos y suspender algunos contratos” (Reales, 2014). Durante el segundo semestre del mismo año, esta compañía suministró mensualmente, por vía férrea y a 179 comunidades guajiras, cerca de un millón de litros (1.000 m³) de agua proveniente

de las plantas de tratamiento de La Mina y Puerto Bolívar (EFE, 2014). De acuerdo con las proyecciones del IDEAM el departamento de La Guajira mantendrá las condiciones desérticas actuales.

El déficit hídrico y la consecuente presión ejercida sobre este recurso han llevado a algunas compañías a implementar soluciones extremas como el complejo auro-cuprífero del valle de Cadia en Australia, propiedad de la compañía Newcrest, compuesto por dos minas subterráneas y una a cielo abierto, donde cada día se tratan 120 m³ de aguas residuales (Newcrest, 2014).

Otro ejemplo de respuesta a la escases hídrica es la planta desalinizadora de minera Escondida en Chile, propiedad de BHP Billiton, que con una capacidad de captación de agua marina de 1050 l/s produce 525 l/s de agua industrial que son conducidos a través de 170 km de tubería hasta la mina ubicada a una altura de 3.200 m sobre el nivel del mar (BHPbilliton, 2013).

- Abatimiento del nivel freático. La ocurrencia de este proceso y su origen en el cambio climático se ha registrado en los grandes cuerpos de agua en el mundo, como el lago Superior en Estados Unidos (Huff, A. & Thomas, A., 2014), el lago Mead en Estados Unidos (NOAA, 2015), el lago Eppalock en Australia (Russell, J. & Long, K., 2006), el lago Baikal en Siberia (Moore, M., y otros, 2009) y el lago Qinghai en China (Zhang, Xie, H., Duan, S., Tian, M., & Yi, D., 2011).

El impacto en áreas mineras de este fenómeno no ha sido estudiado en Colombia; sin embargo, representa una amenaza fuerte a la industria extractiva que afectaría tanto sus actividades operativas como sus relaciones con las comunidades circundantes que suelen atribuir este tipo de eventos exclusivamente a las actividades mineras.

2.3 Aumento de temperatura

De acuerdo con las cifras ofrecidas por la ANM (2015) sobre accidentalidad minera en Colombia, entre 2005 y 2014 ocurrieron 67 incendios de los cuales el 41,8 % tuvo lugar durante años Niño, el 37,3 % en año de la Niña y el 20,9 % en año normal.

Las proyecciones presentadas por el IDEAM indican aumentos en las temperaturas mínimas, medias y máximas en diferentes áreas mineras del país.

- Sequía. Actualmente las temperaturas de las zonas mineras del norte del país y del valle medio del Magdalena ya resultan altas, es así como en el primer semestre de 2014 el IDEAM alertaba sobre posibles incendios debido a las altas temperaturas que llegaron a alcanzar hasta 41°C en las zonas mineras del Cesar y 39.5°C en La Guajira, uno de los máximos valores registrados en los últimos años.

Los escenarios de cierre de mina pueden verse afectados por el aumento de la temperatura media y la evapotranspiración en épocas de sequía dificultando, entre otros, los procesos de recuperación ambiental actuales y proyectados para el cierre de mina. La reducción de humedad de suelo podría incluso incidir en la química del suelo y sobre las especies utilizadas en la reforestación.

- Elevación del nivel medio del mar. Los más afectados serán los sistemas portuarios, aluviales y marítimos utilizados en el transporte de carbón de exportación. Los procesos erosivos asociados al incremento del nivel medio del mar podrán originar daños a la infraestructura de cargue directo del carbón de exportación.

La experiencia de los puertos carboneros en Queensland (Australia) indica que, además de los embates erosivos del oleaje, la elevación del nivel medio del mar conlleva mayor frecuencia de tormentas y ventiscas que atentan contra la infraestructura portuaria (King, P. & Dunstall, S., 2010).

- Inundaciones. La falta de lubricación del suelo necesaria para la infiltración del agua precipitada es la fuente de muchas inundaciones asociadas a lluvias torrenciales al final de los periodos de sequía. Este tipo de inundaciones se ha presentado en las regiones de las cuencas bajas del Cauca y Magdalena, al igual que en la cuenca del río Cesar.
- Olas de calor. Por más de cien años la industria minera global ha reconocido los daños vinculados con el estrés por calor dado que reduce la productividad, aumenta las decisiones erróneas y produce más accidentes. Cuando la temperatura y la humedad ambiental superan un umbral, la temperatura corporal comienza a elevarse rápidamente hasta niveles peligrosos. En general, se prevé que el cambio climático aumente la probabilidad de ocurrencia de más días al año con temperaturas extremas y, en consecuencia, mayor duración en las olas de calor.

En las regiones de Bajo Cauca, Magdalena Medio, Cesar y La Guajira, donde se produce un porcentaje alto de la minería, es posible que se incremente el número de días con más de 35 °C que es el límite inferior de las oleadas de calor considerado en países como Australia y Canadá (Smith, 2013).

- Vendavales. La ocurrencia de este tipo de tormentas con vientos que pueden superar los 60 km/h es común en las regiones donde se espera reducción de la precipitación. El aumento de temperaturas en las regiones bajas de las cuencas del Magdalena y el Cauca podrán incrementar la producción de estos fenómenos.

3. TIPOLOGÍA DE EFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICO EN LA INDUSTRIA MINERA

Los impactos, entendidos como las consecuencias de los fenómenos amenazantes, no ocurren de forma individual ni responden a relaciones unidireccionales, por regla general suelen presentarse como una cascada de efectos negativos que alteran el desarrollo de diferentes sectores, tales como el incremento en el consumo energético para el bombeo de pozos inundados o el tratamiento de las fuentes hídricas receptoras del agua drenada.

El cierre de las vías de acceso por efecto de un fenómeno de remoción en masa puede conllevar interrupción en la cadena de suministros y comercialización (despachos), costos adicionales por reparación y aumento en el estrés del personal, entre otros.

Como base de análisis de los principales impactos asociados al cambio climático sobre el negocio minero se propone la siguiente lista que agrupa las categorías con los impactos más relevantes esperados ante variaciones climáticas.

3.1 Incremento en la accidentalidad y deterioro de la salud y la higiene laboral

Se han identificado siete efectos principales del cambio climático sobre la salud y la higiene laboral en las operaciones mineras así:

- Accidentes de transporte por ausencia de protocolos de seguridad.
- Accidentes asociados a fallos en la ventilación o el bombeo de agua de mina.
- Aumento de la contaminación microbiana de las fuentes hídricas y la afectación por modificación de los límites geográficos y la estacionalidad de las enfermedades infectocontagiosas.
- Aumento del estrés térmico en los empleados.
- Reacciones erráticas y desordenadas de atención a personal afectado que incrementan los efectos del impacto.
- Personal atrapado por colapsos en las rutas de evacuación.
- Efectos sobre el almacenamiento de alimentos y agua potable.

3.2 Incremento de emisiones contaminantes (agua, atmósfera, suelo)

Las condiciones climáticas proyectadas permiten suponer cinco afectaciones importantes asociadas con la emisión de contaminantes:

- Afectación de los servicios públicos (agua, energía, gas y alcantarillado).

- Aumento de emisiones de material particulado a la atmósfera.
- Erosión de las pilas de almacenamiento.
- Percolación de los drenajes ácidos por humectación del suelo.
- Rompimiento de los tanques de sedimentación y almacenamiento de colas causando vertimientos contaminados a las fuentes naturales.

3.3 Rotura cadena suministro insumos materiales y energéticos

El acceso a suministros básicos y específicos para la operación normal de las actividades mineras se considera un punto fundamental en el correcto funcionamiento del negocio minero y, en consecuencia, se verificaron cinco efectos a considerar:

- Averías en la cadena de suministro.
- Competencia por servicios de transporte con otras industrias demandantes.
- Daños en servicios de infraestructura como vías, puertos, ferrocarriles y electricidad entre otros.
- Derrumbes y caída de rocas y árboles causando taponamientos.
- Pérdida de la capacidad de abastecimiento temporal o permanente.

3.4 Daños a infraestructuras

La logística asociada a las operaciones mineras ha mostrado ser uno de los elementos más susceptibles a los cambios climáticos dando lugar a siete elementos a verificar:

- Afectación a la integridad de la infraestructura carretera, ferroviaria, aeroportuaria y portuaria.
- Alto costo de transporte ineficiente a través de vías terciarias en mal estado.
- Aumento de costos logísticos y de transporte por uso de rutas alternativas más extensas y lentas.
- Mayor frecuencia de incendios forestales.
- Parque automotor insuficiente para nuevas condiciones de transporte.
- Reducción de calado para transporte fluvial.
- Sujeción a disponibilidad de equipos y maquinaria pública para apertura de vías y otras soluciones.

3.5 Daño maquinarias

Las afectaciones a la maquinaria vinculadas con cambios de temperatura y precipitación a considerar son:

- Daño en infraestructuras y equipos (hundimientos, fracturamiento, etc.).
- Daño físico o degradación acelerada de activos por corrosión, abrasión, inundación o derrumbe. (plataformas, minas, presas, agua, energía, ferrocarril, carreteras, extracción, almacenamiento, instalaciones y alojamiento).

3.6 Bloqueo de las actividades productivas, transporte y comercialización

Se han identificado ocho elementos asociadas al cambio climático que darían lugar al cierre parcial o total de las operaciones mineras:

- Accidentes de transporte por ausencia de protocolos de seguridad.
- Cierre parcial o definitivo de las operaciones mineras por falta de fluido eléctrico para sistemas de ventilación y bombeo.
- Cierre temporal de operación por pérdida de calado de las dragas o por incremento en la profundidad del canal superando la capacidad de bombeo.
- Congestión en el almacenamiento temporal, en los nodos de transporte o en los puertos.
- Deslizamientos, hundimientos y debilitamiento de las fundaciones y las estructuras por cambios en la humedad del suelo.
- Derrumbes y falla de los taludes de la mina por presiones hidrostática e hidrodinámica.
- Inundación por incremento de filtraciones y corrientes de agua a través de los contactos litológicos con contrastes hidráulicos.
- Reducción en la producción por falta de agua en los procesos de gran dependencia hídrica.

3.7 Afectación servicios públicos

El suministro de servicios públicos resulta de gran susceptibilidad ante las siguientes modificaciones climáticas:

- Contaminación de acueductos por exceso de transporte de sedimentos.
- Interrupciones en el fluido eléctrico.
- Incertidumbres en la oferta, el suministro y la gestión hídrica.

3.8 Afectación a planificación productiva

Los cambios climáticos han mostrado que pueden exceder la planificación de las operaciones originando nuevas condiciones que deberán ser atendidas en el proceso mismo de ejecución de la mina:

- Cambios en el plan del cierre de operaciones por afectación de ecosistemas, en algunos casos de la licencia ambiental y en el plan de manejo ambiental.
- Déficit de agua para procesos de lavado, lixiviación, molienda húmeda, homogenización húmeda, clasificación en fluido, concentración gravimétrica, flotación e hidrometalurgia.
- Degradación física y química del material minero.
- Demora en despachos por reparación de equipos y maquinaria o por dependencia de un solo tipo de transporte.
- Formación de flujos subsuperficiales erosivos que debilitan la infraestructura.
- Inundación de patios de acopio por falla de drenaje y filtros.
- Mayor presión de los reguladores ambientales.
- Mayores exigencias en rehabilitación y revegetación por nuevas condiciones.
- Reducción en la calidad de agua suministrada por corrientes naturales.

3.9 Afectación a gobernabilidad

Se han identificado cuatro elementos asociados a modificaciones climáticas que podrían afectar la gobernabilidad:

- Expectativas de gobiernos y comunidades sobre la participación de la industria para afrontar los riesgos climáticos, en especial la conservación del agua.
- Impactos del cambio climático a la comunidad, la infraestructura e interrupciones del tráfico.
- Incremento de conflictos por agua con otros usuarios regionales o locales.
- Modificaciones a las normas de diseño de infraestructura.

3.10 Efectos sociales

Las relaciones con la comunidad podrían verse afectadas por las siguientes condiciones:

- Conflictos con la comunidad por vertimientos contaminados a fuentes hídricas.
- Daño en las vías durante períodos invernales.
- Conflictos con la comunidad y las autoridades por impactos ambientales.
- Contaminación del agua potable por mezcla con aguas de escorrentía, de mina o de vertimientos líquidos.

- Incremento en la demanda por servicios de emergencia.
- Pérdida potencial de empleo por la falta de acceso seguro a sitios.

3.11 Efectos financieros

Aunque se considera que todos los impactos terminarán afectando financieramente a la operación, los efectos más relevantes serán:

- Costos de reparación de impactos ambientales asociados.
- Afectación a la reputación por fallas en la calidad y la integridad del despacho.
- Aumento de los costos de mano de obra y reducción en la disponibilidad de los equipos.
- Incremento de los costos de mantenimiento y reparación de vías y vehículos.
- Aumento en costos de operación, mantenimiento y reparación de maquinaria y equipo de transporte.

3.12 Efectos inducidos por efectos del cambio y la variabilidad climática en el exterior

El cambio climático puede impactar a las compañías extractivas según su ubicación geográfica y los efectos climáticos en las áreas de consumo de sus productos.

La demanda del carbón, principal producto de exportación minera en el país, está influida por:

- Las reducciones en la oferta mundial de carbón debido a disminución en la capacidad exportadora de los seis principales países exportadores (Indonesia, Australia, Rusia, Estados Unidos, Sudáfrica, Colombia y Canadá) serán rápidamente compensadas por otro de ellos.
- En Australia por fenómenos climáticos como las grandes inundaciones ocurridas entre 2010 y 2011 que causaron una caída en más del 30 % de la producción carbonera en Queensland y, a partir de esto, el incremento en los precios internacionales (Sharples, 2011).
- En 2004, el tráfico en los puertos australianos causado por el retraso por eventos climáticos extremos en las adecuaciones para carga de carbón provocó un aumento en los precios y desplazó a los compradores internacionales hacia los otros países (Macdonald-Smith, 2004).
- Las suspensiones en el fluido eléctrico y el descarrilamiento del tren carbonero que abastece el puerto de Richards Bay en Sudáfrica han causado retrasos en los despachos durante periodos invernales (SANEDI, 2013).
- La interrupción en las operaciones del puerto de Drummond en Colombia en 2013, aunque no se debió a efectos climáticos, representó un estímulo de corto plazo para las exportaciones sudafricanas (Mathews, 2014).

La dependencia del carbón en la industria energética de la Unión Europea descendió de 90 % en la década del cincuenta hasta 17 % en la década del 2000, esto debido a la sustitución por gas natural considerado menos contaminante (UPME & CRU Strategies, 2007). Adicionalmente, el calentamiento oceánico está causando la expansión del cinturón tropical desplazando hacia el norte las tormentas tropicales, los huracanes y los tifones, por lo que se espera mayor consumo energético en los países septentrionales asiáticos, europeos y americanos (Oskin, 2014).

El desplazamiento hacia el norte de los fenómenos extremos impactará también en la producción minera de los países destino de estos eventos climáticos y, en consecuencia, aquellos países ubicados en las áreas tropicales expandidas, con menor efecto se verán beneficiados productiva y comercialmente.

Los países asiáticos continuarán consumiendo carbón hasta que exista una fuente más limpia económicamente accesible que lo sustituya en los sistemas de calefacción durante los inviernos. En ese sentido se pronunció Rajendra Pachauri, premio Nobel de la Paz en 2007 y director del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) entre 2002 y 2015, cuando en su discurso frente a los miembros de la XXXI sesión del IPCC en Bali indicó sobre India: "¿Pueden imaginar 400 millones de personas sin energía eléctrica en sus hogares?, no es posible, en una democracia, ignorar las realidades [...] no existe otra opción que usar carbón en el corto plazo" (Sharma B. , 2009).

4. ADAPTACIÓN AL CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA INDUSTRIA MINERA A NIVEL GLOBAL

Los tomadores de decisiones públicas y privadas están adquiriendo consciencia de los impactos potenciales del cambio climático en el aumento de la vulnerabilidad y, en consecuencia, de la necesidad de implementar medidas de adaptación, definidas como el “Ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados, o a sus efectos, que atenúa los efectos perjudiciales o explota las oportunidades beneficiosas” (IPCC, 2007).

Las implicaciones del cambio climático deben formar parte integral de la planificación a largo plazo. Por esta razón, aunque con bastante lentitud, las empresas extractivas líderes han comenzado a considerar los riesgos climáticos en sus evaluaciones de gestión de riesgos corporativos, incluyendo el cumplimiento de las regulaciones relacionadas, la percepción de los accionistas y los clientes, el control de los gases de efecto invernadero.

Aún, bajo la creciente presión ejercida por accionistas, reguladores y consumidores, persiste una gran incertidumbre sobre las proyecciones climáticas que, sumadas a las fuertes inversiones requeridas para diseñar, construir o modernizar la infraestructura para la adaptación, ha hecho que el grueso de las empresas mineras posterguen la inclusión del riesgo climático dentro de los procesos de toma de decisión (Rodgers et. al., 2010, pág. 10).

Para las industrias extractivas la probabilidad de reubicación o sustitución inmediata de procesos es muy baja debido a la localización de los yacimientos económicamente explotables, los costos incurridos, la disponibilidad de lugares adecuados y la falta de opciones de producción alternativa. A pesar de lo anterior, existe poca evidencia de consideraciones sectoriales estratégicas de adaptación al cambio climático, por el contrario suele planificarse con métodos tradicionales de gestión de riesgos.

4.1 Situación global

Algunas compañías han comenzado a tomar medidas de adaptación al cambio climático, en su mayoría dirigiendo sus esfuerzos a acciones reactivas basadas en eventos pasados y series climatológicas históricas dejando de lado los escenarios futuros (Lough & Hobday, 2011), (Frusher, y otros, 2013); (Easterling, Hurd, & Smith, 2004). De esta forma, la planificación se dirige a reducir el impacto de los eventos extremos ocurridos en los últimos 50 años más que a diseñar estrategias para enfrentar las nuevas condiciones. Esta tendencia de atención limitada a la adaptación en el sector minero es global (Hodgkinson, Hobday, & Pinkard, 2014) y podría explicarse por la falta de comprensión actual de la naturaleza de los posibles cambios e impactos futuros (Ford, y otros, 2010).

A manera de ejemplo, Sussman & Freed (2008) indican que algunas empresas han optado por desplazar sus operaciones hacia áreas con menor exposición al riesgo climático, mientras otras están modificando sus procesos para reducir el consumo hídrico y energético. Sin embargo, una adaptación exitosa en el largo plazo precisa reconocer y actuar sobre las amenazas identificadas sin esperar la inminencia del impacto (LCCP, SDRTEE, & SECCP, 2006). Adicionalmente, la lucha efectiva contra el cambio climático puede exigir de las empresas que desafíen las rutinas y los sistemas de análisis usados en el pasado para integrar nuevos procesos proactivos de adaptación.

Como se mencionó anteriormente, la respuesta reactiva ante eventos extremos, en ausencia de búsqueda de mecanismos de adaptación al cambio climático, es la tendencia típica en las industrias extractivas y es independiente de su tamaño, producto extraído o tipo de producción (Hodgkinson, Hobday, & Pinkard, 2014). Los resultados exitosos del pasado han reforzado el convencimiento de que la resiliencia y la resistencia son las mayores fortalezas del sector minero y que, en consecuencia, es innecesario prepararse para condiciones climáticas más adversas.

Los miembros del Consejo internacional de minería y metales (ICMM por sus siglas en inglés), que agrupa 19 de las más grandes compañías extractivas y 30 agremiaciones mineras entre las que se incluye la Cámara Asomineros de la Andi, han reconocido en el cambio climático un problema mundial que precisa respuestas globales y, en consecuencia, promueve el desarrollo y la diseminación de tecnologías para la construcción de capacidades de adaptación al cambio climático, particularmente en países en desarrollo (ICMM, 2009).

Algunas compañías extractivas de la provincia de Saskatchewan en Canadá han indicado la importancia de esta planificación proactiva para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático y la variabilidad climática.

Por su parte, la Asociación canadiense de minería (MAC por sus siglas en inglés) ha indicado su compromiso firme con ser parte de la solución para afrontar el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero, para lo cual promueve la eficiencia energética y la reducción de los mencionados gases (MAC, 2010).

Finalmente, y de acuerdo con estudios recientes, se desarrollan grandes dificultades cuando es el Estado quien toma la iniciativa sobre la adaptación mediante regulaciones que intervienen como impulsores externos a la autonomía empresarial (Hodgkinson, Hobday, & Pinkard, 2014).

4.2 Situación en Latinoamérica

Un estudio realizado en las regiones chilenas de Arica, Parinacota y O'Higgins sobre las condiciones climáticas imperantes en las cuencas con mayor producción de cobre, hierro y oro

estimó que el 78 % de las operaciones cupríferas están en cuencas con déficit hídrico, es decir, que se encuentran en riesgo muy alto frente al cambio climático (CEPAL, 2009).

El déficit hídrico actual y las proyecciones de su intensificación han llevado a la industria minera chilena a desalinizar agua marina y bombearla a través de acueductos hasta regiones apartadas: 1) Minera Candelaria (80 % Freeport McMoran y 20 % Sumimoto) que procesa 500 l/s y los transporta a lo largo de 80 km; 2) Minera Michilla (100 % Antofagasta Minerals) que procesa 75 l/s que se transportan 14 km; 3) Minera Las Cenizas TalTal (100 % Las Cenizas) con una capacidad de procesamiento de 9,3 l/s con una tubería de 44 km; 4) Minera Esperanza (100 Antofagasta Minerals) con capacidad de 50 l/s conducidos a lo largo de 200 km; 5) Minera Escondida (100 % BHP Billiton) que procesa 525 l/s y los conduce a lo largo de 170 km hasta los 3.200 metros sobre el nivel del mar; y 6) Minera Mantoverde (100 % AngloAmerican) con capacidad de 120 l/s y 21 km de tubería (Montes, C., 2013).

4.3 Enfoques corporativos de la adaptación

Son pocas las compañías que han comenzado a elaborar planes proactivos de adaptación al cambio climático siendo mayor el número de aquellas que limitan esta actividad a los planes de gestión de riesgos a largo plazo (Pittman, Pearce, & Ford, 2013).

La perseverancia en esquemas de adaptación reactivos producirá fuertes impactos financieros asociados con las nuevas condiciones pues no se preparan para afrontar la intensificación futura de los eventos climáticos conocidos históricamente. Un ejemplo de la necesidad de adaptación proactiva fue lo ocurrido a la compañía minera Río Tinto en 2006 cuando un incremento en la temperatura provocó la descongelación de la autopista de hielo de 300 km que daba acceso a su mina diamantífera Diavik, ubicada cerca del Círculo Polar Ártico en Canadá, obligando a costosos abastecimientos aéreos de suministros por cerca de tres años (Carey, 2006).

A pesar de las obvias ventajas de la reducción del riesgo mediante la adaptación proactiva, los decisores internos de las compañías suelen exigir pruebas sobre tales beneficios. Es por esto que superar la resistencia a la adaptación exigirá el reconocimiento de la efectividad del proceso adaptativo incremental al enfrentar riesgos futuros (Stafford, Horrocks, Harvey, & Hamilton, 2011).

Puesto que no todos los efectos climáticos evaluados y sus magnitudes se consideran igualmente probables, esta calificación dependerá de la aversión al riesgo o grado de cautela corporativos. Algunos fenómenos con baja probabilidad de ocurrencia podrían ser potencialmente perjudiciales para una operación específica.

La experiencia adquirida con Diavik y otras propiedades llevaron a Río Tinto a sintetizar las proyecciones de cambio climático (temperatura, precipitación, inundaciones y sequías, nivel del mar y viento) de las regiones donde tiene operaciones e identificar los impactos esperados en cada caso. El resultado final de este trabajo es un marco referencial de análisis de impactos alineado con su política corporativa donde reconoce que: “además de que el cambio climático es ahora inevitable, lo que requiere adaptación a sus efectos... tomaremos acciones para enfrentar el cambio climático, consistente con los objetivos de Río Tinto de crear valor a largo plazo para los accionistas” (Río-Tinto, 2012).

La adopción de este enfoque sólido y estructurado ha ofrecido a Río Tinto beneficios que incluyen adquirir propiedades a bajo costo para incrementar su resiliencia ante eventos climáticos extremos; reducir costosos tiempos de inactividad, reconstrucciones y modernizaciones; mejorar los rendimientos financieros y generar reportes internos y externos con agilidad. Esto también ha aportado para alinearse con las regulaciones ambientales, los trámites de aprobación de proyectos y la capacidad de respuesta proactiva al creciente escrutinio de los actores externos, incluidos gobiernos, comunidades e instituciones financieras (AECOM, 2015).

Por otra parte, el mismo calentamiento que afectó a Río Tinto en Diavik, en 2006, redujó los costos de transporte a Barrick Gold en su mina de oro de Donlin en Alaska occidental al incrementar el lapso de acceso fluvial de cinco a ocho meses al año (PWC & CDP, Materials sector report: covering global 500, S&P 500 and FTSE 350 respondent, 2011).

4.4 Lecciones aprendidas sobre adaptación climática en la industria global

A partir de la revisión bibliográfica de las experiencias internacionales se extraen algunas lecciones importantes a considerar en la generación de las líneas de adaptación climática de la industria minera colombiana.

Las actividades de extracción, beneficio y transformación son altamente dependientes del recurso hídrico, cuyo acceso en los volúmenes requeridos será cada vez más difícil; de igual forma, son altamente dependientes de la energía.

Dentro de las sensibilidades mineras más prominentes ante el cambio climático y la variabilidad climática se destacan la precipitación, los períodos de sequía y el clima extremo que afectan tanto la infraestructura minera como las operaciones mismas. Adicionalmente, las operaciones extractivas deberán afrontar modificaciones en la infraestructura y las regulaciones relacionadas con gestión de riesgos (Pearce, Ford, Prno, & Duerden, 2009).

El cambio climático y la variabilidad climática amenazan con modificar las condiciones previstas para las actividades de cierre y abandono.

La exigencia legal de elaborar evaluaciones de impacto ambiental ha motivado el estudio de los impactos asociados con el cambio climático y la variabilidad climática. Esto ha permitido la inclusión de parámetros de cambio climático en los planes (Pearce, Ford, Prno, & Duerden, 2009).

Diferentes autores han considerado que el paso más importante que puede dar el sector extractivo es reconocer en el cambio climático un problema que precisa la construcción de capacidades adaptativas (ICMM, 2009).

Previendo un riesgo climático incremental y de difícil gestión adaptativa algunas empresas mineras han comenzado la búsqueda de nuevos territorios con potencial minero que presenten condiciones climáticas más propicias para su desarrollo corporativo (Sussman & Freed, 2008). El caso más representativo es el de Riotinto que evaluó las condiciones relacionadas con el cambio climático y la variabilidad climática en todas sus propiedades estableciendo prioridades de intervención bajo procedimientos bien informados.

Aunque lenta, existe una tendencia creciente de las regiones mineras a reconocer de forma anticipada las amenazas, las vulnerabilidades y los impactos a que se verían sometidas con el objeto de construir y fortalecer sus capacidades de adaptación (LCCP, SDRTEE, & SECCP, 2006)- Sin embargo, actualmente no se está desarrollando planificación adaptativa de largo plazo en el sector minero debido a una práctica gerencial más dirigida al día a día, a la percepción de altos costos requeridos para atender condiciones climáticas futuras proyectadas con niveles muy altos de incertidumbre (Pearce, Ford, Prno, & Duerden, 2009).

La vulnerabilidad, además de representar el grado de exposición ante una amenaza, refleja las actitudes, las expectativas y el conocimiento de los profesionales mineros en lo referido al cambio climático.

Sin lugar a dudas, las medidas con mayor aceptación en la industria minera se enfocan en el desarrollo e implementación de alternativas tecnológicas que permitan reducir la dependencia hídrica y el consumo energético (Sussman & Freed, 2008; MAC, 2010).

El grueso de las acciones frente al cambio climático en la minería se dirige a la mitigación, en particular sobre la generación de gases de efecto invernadero, más que a la adaptación. Sin embargo, estas actividades de mitigación están más motivadas por la reducción de costos de

energía, la regulación y la imagen corporativa que por las proyecciones climáticas (Pearce, Ford, Prno, & Duerden, 2009).

Indiscutiblemente, los territorios con potencial minero suelen adoptar la decisión de elaborar sus planes de adaptación con posterioridad a la ocurrencia de eventos climáticos cuyos impactos mostraron las deficiencias de las acciones de gestión del riesgo diseñados bajo esquemas ortodoxos.

Adicionalmente, los eventos climáticos extremos registrados en zonas productivas como Queensland (Australia) o Saskatchewan (Canadá) han demostrado que el costo de evadir la adaptación climática excede aquel en que se incurrirá para reconstruir una infraestructura afectada por estos eventos.

Existe un distanciamiento entre los reportes ofrecidos por los científicos del cambio climático y las tendencias proyectadas por sus pares de la industria minera quienes reconocen cambios en el clima pero no comparten las predicciones de los primeros. Por esta razón se verifica una ausencia de consenso sobre los fundamentos y las necesidades de adaptación al cambio climático (Mason, L. & Giurco, D., 2013).

La consideración de que las minas que están en operación actualmente no lo estarán cuando se materialicen los impactos del cambio climático proyectado a 50 o 100 años ha contribuido a retardar la planificación de la adaptación; sin embargo, bajo esta perspectiva los territorios se verán afectados por los impactos futuros del clima sobre minas abandonadas en ausencia de planes de adaptación climática.

5. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y VULNERABILIDAD DE LA MINERÍA AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Un elemento clave para poder planificar la adaptación al cambio climático y la variabilidad climática es poder evaluar la medida en la cual el sector puede verse afectado por los eventos y sub eventos que este genera, es decir, evaluar su vulnerabilidad y riesgo antes los mismos. A continuación se presenta la metodología que se ha elaborado en el marco de este proyecto para poder realizar esa tarea, la que es ilustrada en el capítulo 7 en un caso piloto llevado a cabo durante el proyecto.

5.1 Fundamento metodológico

Disponer de una metodología que sea capaz de estimar los posibles efectos del cambio climático y la variabilidad climática en los distintos escenarios futuros sobre la actividad minera no es fácil. Existen varios retos que superar teniendo en cuenta además que no se prodigan esfuerzos similares en otras latitudes, y los que se adelantan están muy focalizados en análisis de riesgo del cambio y la variabilidad climática en operaciones mineras específicas, no el de un sector como es lo requerido en este caso, lo que no hace fácil su extrapolación.

Esta propuesta metodológica entiende que la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo de una actividad para la formulación de un plan de adaptación es, en sí misma, una actividad de generación de información para la toma de decisiones. No es un ejercicio teórico y por tanto, útil en cualquier circunstancia.

Según lo anterior, se considera que lo apropiado en contextos de toma de decisión en situaciones de incertidumbre, como es el caso que supone este cálculo de vulnerabilidad, lo importante no consiste en proveer a toda costa información supuestamente cierta (cosa por lo demás imposible), sobre posibles eventos futuros, sino facilitar marcos de gestión de la información disponible hoy, que permitan tomar la mejor decisión posible.

En este sentido esta metodología se funda en dos conceptos centrales. Por un lado, se ha propuesto entender el concepto de riesgo estructural como el concepto central del análisis de vulnerabilidad y riesgo en el marco de una política pública, como la de adaptación al cambio climático. De manera muy simple se puede señalar que el riesgo estructural es un riesgo implícito en la estructura de una situación de riesgo; en la estructura de la amenaza y del objeto amenazado. Por tanto, no es un riesgo operativo fundado en una determinación precisa en el tiempo y el espacio de ambas componentes del riesgo.

Por otro lado, se ha propuesto el concepto de sistema minero como el objeto del análisis de riesgo. Este concepto releva al objeto tradicional del análisis de riesgo, que en este caso se ha entendido como la operación productiva específica, por ejemplo, la operación minera. Así, el sujeto de análisis no es la vulnerabilidad y el riesgo ante el cambio climático y la variabilidad climática de una operación minera específica, sino del sistema minero.

Por tanto el resultado del análisis de riesgos es el riesgo derivado de cruzar las características estructurales del cambio climático y la variabilidad climática en un territorio específico, y las características estructurales de una entidad compleja como es un sistema minero.

Formalmente se trata de una modelación acotada en la cual ambas descripciones estructurales se cruzan y se obtiene un resultado consistente en una valoración, en una aseveración del riesgo estructural que resulta plausible. Por tanto, la construcción metodológica no genera una información de una "realidad", sino una valoración sobre la cual se puede articular una decisión.

En cuanto a la naturaleza de sus resultados, se puede entender que esta metodología, fundada en el concepto de riesgo estructural, genera un escenario de vulnerabilidad y riesgo ante el cambio climático y la variabilidad climática para un sistema minero específico. No se trata de una predicción, ni de un pronóstico, sino de una previsión, de un ejercicio de prospectiva en línea con las recomendaciones del IPCC y del PSACC.

Naturalmente, se trata de una metodología que se inserta en un proceso más amplio de desarrollo de las herramientas de lucha contra el cambio climático, que se encuentran en un proceso de desarrollo y a veces de veloz desarrollo, por lo que se entiende que es una metodología en evolución.

5.2 Conceptos Básicos

5.2.1 Objetivo del análisis de riesgo y vulnerabilidad: el Sistema Minero

El propósito declarado de la metodología de evaluación de vulnerabilidad y riesgos al cambio climático y la variabilidad climática de la minería es el de contribuir a la construcción del Plan Sectorial de Adaptación al Cambio Climático (PSACC) como herramienta pública que permitirá al sector minero adaptarse adecuadamente a los efectos generados por el cambio climático y la variabilidad climática.

Por lo tanto, se trata de identificar los riesgos del sector minero en su totalidad y definir una hoja de ruta que desarrolle las medidas de adaptación del caso.

Esto implica que la vulnerabilidad y riesgo a los efectos del cambio climático y la variabilidad climática del sector minero no se pueden entender como la suma lineal de los riesgos que enfrenten las operaciones mineras individualmente consideradas ni a la inversa, se puede concebir la vulnerabilidad y riesgo de cada operación minera singularmente considerada como una mera concreción de los riesgos que enfrenta el sistema minero como totalidad. Cada uno requiere fundamentalmente de una descripción propia de su sistema.

Por tanto, la unidad de análisis de la valoración de vulnerabilidad y riesgo de los efectos derivados del cambio climático y la variabilidad climática es el sistema minero tipo en un área geográfica delimitada. Se entiende por sistema minero tipo el conjunto de operaciones mineras dedicadas a la extracción de recursos mineros (carbón, oro, etc.) con similares características operativas (p. ej. carbón subterráneo), similares condiciones empresariales y de gestión (pequeña y mediana empresa), en un espacio geográfico determinado (Provincia de Ubaté, Cundinamarca).

Igualmente, el sistema minero está compuesto por un conjunto articulado e interdependiente de componentes que hacen referencia a aspectos materiales y no materiales de la operación minera, es decir, a todos aquellos que son parte integrante de su funcionamiento. Por ejemplo, la gerencia y el sistema de gestión empresarial o los sistemas de control de calidad.

Cada sistema dispondrá del mismo número de componentes, pues son genéricos a cualquier sistema minero. Lo que resulta distinto es el modo en que cada componente es caracterizado en cada sistema. En el caso hipotético del carbón, el componente "tecnología de extracción" pudiera ser caracterizado como "explotación subterránea con tecnologías x o y, con las características h y d".

Siendo los componentes del sistema sus elementos constitutivos, entonces, todo el análisis de vulnerabilidad y riesgo se hará en relación con esos componentes. Así, las amenazas serán aquellas de determinados eventos naturales, "remociones en masa", sobre cada uno de los componentes del sistema.

A continuación, se presenta la descripción de los ocho componentes identificados que describen de forma exhaustiva un sistema minero. Esta clasificación del sistema minero en componentes es convencional y es posible subdividir un sistema minero de forma distinta, pero ello no afecta al análisis, siempre y cuando sea útil para identificar las amenazas pues se puede ver sometido por los eventos climáticos, en el entendido también que la única de análisis última es el sistema minero y no sus componentes.

- **Componente administrativo y financiero**

Comprende todos los aspectos que conforman el sistema administrativo de la empresa tales como dirección, planeación y procesos de toma de decisiones, identificación de objetivos y metas de producción y financieras, distribución de responsabilidades y labores, ejecución de los objetivos y las metas, control y verificación del correcto seguimiento a los planes trazados.

- **Componente recursos humanos**

Este componente está relacionado de manera directa con los otros componentes al incluir todo el personal operativo y administrativo vinculado de manera directa o indirecta con las diferentes etapas mineras (exploración, construcción y montaje, explotación y cierre de mina).

- **Componente de la cadena de suministros**

El concepto de cadena de suministros incluye a todos los proveedores que satisfacen las diferentes necesidades de la industria minera en cada una de sus actividades (Arango, Zapata, & Gómez, Noviembre de 2010), y contempla los sistemas hospitalarios, de abastecimiento de agua potable, energía, alimentos, combustibles y explosivos, equipos, maquinarias y herramientas, entre otros.

- **Componentes extractivos**

Por su visibilidad, este es el componente más conocido y, por supuesto, se divide según los métodos extractivos en minería subterránea y a cielo abierto. Por ser el núcleo del negocio minero sus actividades son esenciales en el análisis de riesgos asociados al cambio climático. A grandes rasgos se distinguen dos grandes modalidades extractivas:

Extracción subterránea: este sistema se utiliza en yacimientos angostos y profundos (vetas o mantos de carbón) que a cielo abierto requerirían ingentes esfuerzos económicos para la remoción de estériles, es decir, sin interés económico, para alcanzar la mineralización. Puesto que la extracción y el transporte de material ocurren a través de túneles y galerías, se requieren actividades específicas de drenaje, ventilación y alumbrado para garantizar condiciones laborales óptimas.

Los minerales metálicos presentes en el yacimiento sufren alteraciones químicas al contacto con el aire a través del túnel o en el patio de almacenamiento, por este motivo, las aguas de infiltración presentes en el túnel serán ácidas y requerirán tratamientos especiales.

Extracción a cielo abierto: de manera similar al anterior tiene sus propias particularidades frente a los efectos climáticos, en particular con inundaciones asociadas con desbordamientos o movimientos en masa por el aumento de la carga hídrica en los taludes.

Las condiciones del yacimiento y la relación entre el volumen de material estéril que debe retirarse para obtener un volumen dado de mineral, denominado relación de descapote, determinan la viabilidad económica de estas operaciones cuyo mayor beneficio es la remoción de grandes volúmenes de material.

- **Componente de transporte y comercialización**

La disponibilidad de infraestructura y servicios de transporte representa un aspecto básico para la productividad y la competitividad de las industrias que comercializan grandes volúmenes de materiales mineros de bajo valor unitario como carbón, ferroníquel, materiales de construcción y caliza. En el caso de los metales preciosos no se requieren cadenas de transporte de gran especialización puesto que el volumen a transportar no es tan grande.

Las necesidades de capacidad de transporte, velocidad de viaje, seguridad, continuidad y costos unitarios, junto con la ubicación geográfica de la mina con respecto a los centros de consumo o de exportación definen el modo o combinación de modos a utilizar para el transporte de materiales mineros.

- **Componente de beneficio y transformación**

El conjunto de procesos a los que es sometido un material minado con el objeto de garantizar su comercialización e incrementar su valor agregado se conoce como beneficio y transformación. Se identifican dos componentes así:

Beneficio. Comprenden las labores de transformación física del material minado requeridas para permitir su uso o posterior transformación (MME & MMA, 2002b).

Transformación. Son procesos unitarios de beneficio donde operan transformaciones físico químicas en el material minero previamente beneficiado.

- **Componente de gestión ambiental**

Se denomina gestión ambiental al conjunto de acciones que permiten un manejo integral del medio ambiente. En el caso específico de la minería, se trata del conjunto de procesos cuyo propósito es el cumplimiento de la normativa ambiental vigente para la actividad, así como el

cumplimiento de los estándares de calidad ambiental que hayan sido fijados por las autoridades ambientales (ANLA, Corporaciones Autónomas Regionales) a través de herramientas como la Licencia Ambiental o los Planes de Manejo Ambiental.

Se trata de un componente muy importante, no solo en términos del cumplimiento en la normativa establecida, sino que también permite el desarrollo de la actividad minimizando los conflictos con poblaciones vecinas debido al deterioro del ambiente.

- **Componente de entorno social, ambiental y de gobernabilidad**

Las actividades mineras tienen lugar en un entorno social, territorial institucional y de gobernabilidad con el cual tiene innumerables relaciones. Se trata, por tanto, de un componente constitutivo de la actividad que no se puede dejar fuera. El entorno puede en ocasiones facilitar o hacer más complejo la gestión de amenazas. O bien al contrario, la gestión de amenazas por el sistema minero puede tener efectos de diverso tipo en ese entorno.

5.2.2 Tipología del riesgo: Riesgos operativos y estructurales

El tema de la escala apropiada del análisis de vulnerabilidad y riesgo a los efectos del cambio climático y la variabilidad climática referidos anteriormente obliga, también, a reflexionar sobre la naturaleza diferencial del riesgo estimado a distintas escalas de trabajo.

En el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio climático (PNACC) se ha señalado, “El riesgo es el resultado de la interacción entre amenazas físicas definidas y un sistema expuesto, teniendo en cuenta las propiedades del sistema en cuanto a su vulnerabilidad ante estas amenazas” (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 5).

En la anterior definición, el riesgo hace referencia a la probabilidad de **un evento materialmente tangible** y definido, y a las consecuencias, en general negativas, que este pudiese tener en **un elemento o sistema, igualmente definido y materialmente tangible**.

Por ello, se tiende a asimilar de forma inmediata el riesgo con la ocurrencia de un evento materialmente tangible que afecta a un elemento que es igualmente materialmente tangible.

Así entonces, la evaluación de riesgo consistiría en la estimación de la probabilidad de que el evento identificado (una remoción en masa, por ejemplo) tenga lugar y afecte a ese elemento tangible (una carretera, por ejemplo), esto por medio de la modelación, simulación o aproximación que se considere adecuada.

De manera que requiere, por ejemplo, de una función que describa cómo un proceso de remoción en masa, determinado espacial y temporalmente, caracterizado en términos de su intensidad o energía, puede afectar a una carretera, igualmente determinada y caracterizada en esas mismas dimensiones.

No obstante, en sistemas complejos como puede ser el caso de la evaluación del riesgo de la minería derivado del cambio climático y la variabilidad climática, difícilmente se puede aplicar el paradigma de análisis de riesgo descrito arriba. Los componentes del sistema minero en este caso son agregados abstractos, como por ejemplo, actividades de extracción y procesamiento del material sin ningún tipo de determinación espacio temporal específica que pueda ser afectado por un evento materialmente descriptible, pues es literalmente un concepto genérico, por ejemplo, actividades primordialmente subterráneas de extracción del material y su procesamiento primario.

El análisis de riesgo, en este caso, no se enfrenta a la valoración de un posible daño material ocasionado por un evento determinado en el espacio y el tiempo, sino a la estimación de la posibilidad genérica de que las condiciones estructurales que relacionan un posible evento con un sistema induzcan o faciliten la ocurrencia de un riesgo operativo en algún momento y lugar. Se trataría entonces, de la identificación y valoración de riesgos estructurales.

Metodológicamente se trata de identificar la medida en que las condiciones estructurales del sistema facilitan o inducen la posibilidad de que el evento le afecte, considerando a éste también en términos de sus condiciones estructurales de existencia.

Lo que así queda identificado, no es un posible riesgo específico, u operativo, determinado en el espacio y el tiempo, sino un riesgo que está implícito en la estructura, tanto del evento como del sistema afectado. Y por consiguiente, se trata de un riesgo que emergerá con alto grado de probabilidad, si el evento y sistema se cruzan en el tiempo y el espacio en el futuro.

El análisis de riesgos estructurales tiene sentido cuando se adopta una decisión estratégica asociada a la gestión de riesgos, como es el caso de los PSACC.

5.2.3 Horizontes temporales

Los análisis de vulnerabilidad y riesgo se pueden llevar cabo en los horizontes temporales para los cuales se estiman los escenarios de cambio climático, que en el marco del Quinto Informe de Evaluación del IPCC y de los trabajos para la elaboración de la Tercera Comunicación Nacional son 2011-2040, 2041-2070 y 2070-2100.

Sin embargo, es preciso tener en cuenta, como se verá más adelante, y como se ha comprobado en los ejercicios pilotos llevados a cabo, que las estimaciones de las variaciones en materia de precipitaciones y temperatura en los distintos escenarios de cambio climático disponibles, tanto internacionalmente como en el país, pierden progresivamente calidad en la medida que se refieren a espacios geográficos acotados, que requerirían escalas de trabajo mucho más detalladas a las utilizadas en las estimaciones oficiales.

Esto es aún más significativo si se tiene en cuenta que el análisis de vulnerabilidad requiere estimar los subeventos (inundaciones, olas calor, etc.) que esas modificaciones en precipitación y temperatura generarían en espacios geográficos acotados, estimaciones que como se señaló en el mismo capítulo en general no están ni siquiera disponibles a las escalas más bajas y propias de las estimaciones nacionales, e incluso regionales.

Esto supone, que en general, no tenga excesivo sentido enfatizar horizontes temporales precisos en los cuales se espera emerjan nuevos eventos y las amenazas al sistema minero, sino más bien, a partir de un conjunto de información disponible intentar identificar la tendencia a la emergencia de nuevos eventos y con ello de nuevas amenazas para el sistema minero.

5.2.4 Función de riesgo

Esta metodología asume la definición de riesgo del Documento “Hoja de ruta para la elaboración de los planes de adaptación dentro del plan nacional de adaptación al cambio climático” (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 25), que se puede traducir en el siguiente algoritmo.

Riesgo = f (Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad).

Vulnerabilidad = f (Sensibilidad, Capacidad de Adaptación).

En la metodología anteriormente descrita, estos términos pueden expresarse de la siguiente forma:

- Amenaza = posibilidad de que un subevento originado por la modificación de la temperatura o las precipitaciones derivadas del cambio y la variabilidad climática afecte a un componente del sistema minero.
- Exposición = grado de presencia del elemento del sistema minero amenazado en el radio de acción del subevento originado por la modificación de la temperatura o las precipitaciones derivadas del cambio y la variabilidad climática.
- Sensibilidad = susceptibilidad o predisposición del sistema minero amenazado a verse afectado.

- Capacidad de Adaptación = Capacidad del sistema afectado de afrontar y recuperarse ante un evento que materialice la amenaza.

5.3 Eventos y Subeventos Derivados del Cambio y la Variabilidad Climática Pertinentes para el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo de la Minería

Para llevar a cabo el análisis de vulnerabilidad es imprescindible establecer para un territorio geográficamente determinado, en el cual se ubica el sistema minero evaluado, la posibilidad de que en escenarios futuros emerjan eventos derivados del cambio y la variabilidad climática que supongan una amenaza para la actividad.

Como se conoce, el cambio climático y la variabilidad climática se sintetizan en tres fenómenos básicos, aumento o disminución de las precipitaciones, modificación de la temperatura, y lo que se denomina variabilidad climática, que cubre una amplia variedad de fenómenos climáticos asociados a una relativa inestabilidad en el comportamiento de sus variables claves. Estos eventos, que a efectos de este estudio se clasifican como eventos primarios, dan lugar a otros eventos naturales, como son inundaciones, heladas, olas de calor, lluvias torrenciales, etc., que a su vez, se catalogan como subeventos, y que son relevantes, pues son ellos los que generan las amenazas sobre las actividades, en este caso mineras.

Los eventos primarios derivados del cambio climático son de obligada consideración para identificar los factores de vulnerabilidad al cambio climático y la variabilidad climática en el caso de la minería en Colombia, pues afectan a todo el planeta. No obstante, no todos los subeventos que ellos generan afectan al país, y no todos los subeventos que afectan al país influyen en la actividad minera.

En particular, para esta metodología es relevante establecer el conjunto de subeventos derivados del cambio climático y la variabilidad climática que pudiesen suponer de forma genérica una amenaza para la actividad minera en Colombia.

Con este propósito se realiza una revisión de los eventos primarios asociados al cambio y la variabilidad climática, básicamente a partir de los informes del IPCC, de los informes nacionales y de la literatura disponible, para comprender de acuerdo al conocimiento actual, cuál es el perfil del comportamiento esperado del cambio y la variabilidad climática en el país, es decir el de los eventos primarios, y a continuación el de los subeventos posibles. Se establece así un conjunto de subeventos producidos por el cambio y la variabilidad climática relevantes para el análisis.

A continuación, a partir de una revisión del estado del arte a nivel internacional sobre los efectos del cambio climático y la variabilidad climática en la minería, se ha sistematizado el conocimiento

disponible sobre la tipología de subeventos que afectan al sector y las primeras reacciones que ha tenido éste en materia de adaptación.

Del cruce de información, se ha definido el conjunto razonable de subeventos derivados del cambio climático (CC) y la variabilidad climática (VC) que debieran focalizar el análisis de la vulnerabilidad sectorial al cambio y la variabilidad climática. Este es el resultado metodológico central de esta primera parte.

Es importante lograr definir y diferenciar entre CC y VC, de acuerdo con el Artículo 4, numeral 6 de la Ley 1523 de 2012 "por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones", se considera cambio climático a una "importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo prolongado (normalmente decenios incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios en el forzamiento externo, o bien a alteraciones persistentes antropogénicas en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras".

Mientras que la variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, coeficiente de variación, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. Esta "variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa)" (IDEAM, 2010, pág. 445).

5.3.1 Proyecciones de cambio climático y variabilidad climática

En 2014, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) publicó su último reporte (AR5) con las investigaciones de sus tres grupos de trabajo sobre CC (IPCC, 2015), constituyéndose como el más relevante para la caracterización del estado del arte actual en la materia, ya que compila de manera actualizada las investigaciones y evaluaciones hechas sobre CC con la literatura científica, técnica y socioeconómica más reciente.

Adicionalmente, el IDEAM (2015) presenta los Nuevos escenarios de cambio Climático para Colombia 2011 - 2100 para las variables de precipitación y temperatura media. Estos escenarios fueron generados para las regiones naturales de Colombia (Andina, Caribe, Pacífica, Amazonía y Orinoquía) y para cada uno de sus 32 departamentos. Los escenarios se basaron en la descripción de los caminos representativos de concentración de emisiones (RCP, por sus siglas en inglés) o forzamiento radiativo, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5.

- Proyecciones globales

“La temperatura de la superficie de la tierra está proyectada para que aumente a lo largo del siglo XXI bajo todos los escenarios de emisiones evaluados. Es muy probable que las olas de calor ocurran con mayor frecuencia y sean más prolongadas, y que los eventos de precipitaciones extremas sean más intensos y más frecuentes en muchas regiones. El océano continuará calentándose y acidificándose, su nivel medio continuará en aumento” (IPCC, 2015, pág. 58).

El CC a lo largo del siglo XXI proyecta una reducción del agua superficial renovable y de los recursos hídricos subterráneos en la mayoría de las regiones subtropicales secas (evidencia robusta y alto grado de acuerdo), con respecto a la intensificación de la competencia entre los diferentes sectores por el recurso hídrico existe poca evidencia y moderado grado de acuerdo (IPCC, 2015, pág. 69).

- Cambios sobre la temperatura del aire

Dentro de los análisis efectuados sobre CC, todos coinciden en el calentamiento de la atmósfera y de un comportamiento futuro de similares características. Existe un escenario de mediana certeza, que presenta que el aumento en el periodo 2016-2035 será entre 0,3°C a 0,7°C comparado con periodo 1986-2005. Dicha condición que aumenta para el final del siglo con un incremento esperado cercano a 1,5°C hasta 2°C dependiendo del escenario analizado, estos valores son considerados de alta certeza (IPCC, 2015, pág. 60).

Igualmente, se considera con muy alto grado de certeza el calentamiento del Ártico, lo que disminuiría su área congelada y consecuentemente aumentaría el nivel del mar. Adicionalmente, se considera de muy alta certeza que el calentamiento medio terrestre será mayor que el calentamiento oceánico y mayor que el calentamiento medio global.

Se considera que es casi un hecho que será más frecuente la ocurrencia de temperaturas calientes y menos frecuentes las temperaturas frías extremas sobre la mayoría del área terrestre a escala diaria y temporal, a medida que la superficie se vaya calentando. Es muy probable que las olas de calor ocurran con mayor frecuencia y mayores duraciones, e inviernos con temperaturas extremas seguirán ocurriendo (IPCC, 2015, pág. 60).

- Cambios sobre el ciclo del agua

Dentro de los escenarios analizados por el IPCC, y especialmente en el más pesimista (escenario RCP 8.5), se espera que los cambios en la precipitación a escala mundial no sean uniformes, las regiones del pacífico ecuatorial junto con aquellas de latitudes medias y altas probablemente experimentarán un incremento en la media anual de precipitación. En las regiones de mediana

latitud y subtropicales con características medias la precipitación media anual probablemente disminuya.

Las precipitaciones extremas en la mayoría de las regiones de latitud media y regiones tropicales húmedas, sufrirán, con un alto grado de certeza, eventos de mayor intensidad y mayor frecuencia a medida que la temperatura de la superficie de la tierra vaya aumentando (IPCC, 2015, pág. 60). También se espera la intensificación de fenómenos macro climáticos como el fenómeno de interacción entre el océano y la atmósfera conocido como El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) cuyas fases extremas son El Niño y La Niña.

- Cambios sobre el nivel del mar

Con respecto al comportamiento de las zonas costeras existe un muy alto grado de certeza que estas regiones continuarán experimentando un continuo incremento del nivel del mar, inundaciones y erosión a lo largo del siglo XXI, debido al aumento en el nivel del mar (IPCC, 2015, pág. 60).

- Proyecciones a escala nacional

De acuerdo a las observaciones hechas durante las últimas décadas, en promedio, la precipitación en Colombia ha venido disminuyendo, y de acuerdo a las proyecciones presentadas por el IPCC, las regiones tropicales continuarían con esta tendencia; sin embargo, debido a la complejidad climatológica y topográfica del país no es posible generalizar esta tendencia. En los Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011 – 2100 (IDEAM, 2015), se presentan proyecciones regionales e incluso departamentales, un resumen de los resultados se presenta a continuación:

Dentro del análisis de la precipitación anual, para el periodo 2011-2040, se esperan aumentos en la región andina entre el 10 % – 40 % y disminuciones del orden del 10 % – 40 % en el norte del país, la Amazonía y la Orinoquía. Para el periodo 2041-2070 y 2071-2100 se espera un comportamiento similar al del periodo mencionado anteriormente. A escala estacional, las reducciones más fuertes de precipitación, se presentarían para la región Caribe en los trimestres marzo-mayo y septiembre-noviembre. Los aumentos más significativos, se presentarían en la región andina entre junio y noviembre.

Con respecto a la temperatura máxima anual en Colombia, las proyecciones muestran alteraciones cercanas a 1°C para el periodo 2011-2040. Para el periodo 2041-2070, se estima un ligero aumento (entre 1,2°C-2,4°C) y finalmente, para el periodo 2071-2100 un incremento entre 2°C y 4°C. Con respecto a esta variable, se esperan los mayores cambios en Arauca,

Caldas, Cesar, Quindío y Santander, mientras que los menores cambios para Cauca, Magdalena, Putumayo y San Andrés y Providencia.

Para la temperatura mínima anual, se esperan ligeros crecimientos cercanos al 0,7°C durante el periodo 2011-2040. Para el periodo 2041-2070, se esperan cambios entre 1°C y 2°C. Finalmente, para el periodo 2071-2100 se espera una alteración en esta variable entre 1°C y 3,5°C. Los mayores aumentos en este campo se espera se produzcan en Arauca, Casanare, Guaviare y Vichada, y los menores en Atlántico, Cesar, Córdoba, Magdalena y San Andrés y Providencia.

5.3.2 Subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática

Como se expuso anteriormente, las comunicaciones y escenarios presentados por el IPCC y el IDEAM hacen referencia principalmente a alteraciones en la precipitación y la temperatura a escala global o regional. Estas variaciones desencadenan modificaciones en el ciclo hidrológico, que afectan diferencialmente a las regiones dependiendo de su localización geográfica principalmente.

Dentro de los impactos (subeventos en el lenguaje de esta metodología) con alta probabilidad de ocurrencia y que son atribuibles con alto grado de certeza (prácticamente seguro) que ocurran durante el siglo XXI, se encuentra el aumento en el nivel del mar. También con alto grado de certeza que ocurra en el futuro se encuentra el aumento de los días y noches calientes en la superficie terrestre (Burkett, V.R., y otros, 2014, pág. 185).

Con alto grado de certeza de ocurrencia en el futuro se encuentran la reducción de los recursos hídricos y la inestabilidad de las montañas, entendida como el incremento en la remoción en masa. Sin embargo, este último se encuentra clasificado como de alta certeza, mientras la reducción en recursos hídricos se encuentra catalogada como no valorada, es decir, que no cuenta con una apreciación concreta debido, en gran medida, a la insuficiencia de datos o falta de acuerdos (Burkett, V.R., y otros, 2014, pág. 186).

Los eventos de alta precipitación son clasificados como de alta detección y de mediana certeza que se reproduzcan durante el futuro; sin embargo, se debe aclarar que estas proyecciones aumentarían en algunas regiones y disminuirían en otras, aunque serían más las regiones que sufrirían aumento que descenso (Burkett, V.R., y otros, 2014, pág. 186).

Con relación a las sequías e inundaciones, las proyecciones indican que son eventos que se presentarían con una valoración de mediana certeza, para ambos impactos. La ocurrencia y frecuencia del evento variarían de acuerdo a la región, y se estima que las sequías aumentarían

en la mayoría de las regiones. Por otro lado, para las inundaciones se indica que no habría una tendencia clara o que variaría de manera importante a escala regional.

El incremento en la intensidad y frecuencia de eventos hidrológicos extremos como las inundaciones, han sido atribuidos al cambio climático, sin embargo, para estimar una alteración de este tipo de fenómeno es necesario cuantificar las incertidumbres de la variabilidad del clima bajo varias condiciones (Jiménez Cisneros, B.E., y otros, 2014, pág. 236).

5.3.3 Subeventos y variabilidad climática relevantes para el análisis de la vulnerabilidad y riesgo de la minería en Colombia

A partir de la revisión en los capítulos de los eventos derivados del cambio y la variabilidad climática se propone un conjunto de subeventos amenazantes para el análisis de la vulnerabilidad y riesgo de la minería en Colombia.

Se consideran el análisis se debe focalizar en el siguiente conjunto de subeventos que son probables en el país y significativos para la actividad minera. No obstante, este conjunto puede ser ampliado o reducido en cualquier estudio específico.

Los subeventos son:

- Olas de calor
- Heladas
- Vendavales
- Inundaciones
- Remoción en masa
- Sequías o déficit de lluvias
- Abatimiento de niveles freáticos
- Elevación en el nivel medio del mar

A continuación se describen estos fenómenos.

• Olas de Calor

De acuerdo a las modelaciones e informes sobre CC y VC, se estima un incremento general de los días cálidos, tanto en temperatura como en frecuencia, clasificando dicho fenómeno como prácticamente seguro que su ocurrencia. Para Colombia, estas condiciones de variación en la temperatura se cuentan con las olas de calor y heladas, entendidas como un periodo cálido extendido superior a las condiciones normales climáticas del área (Met Office, 2015), es pertinente aclarar que este tipo de fenómenos van acompañados de escenarios de alta humedad.

- **Heladas**

Son un fenómeno climático que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele y se deposite en forma de hielo en las superficies. Este fenómeno es muy común en las zonas de altitudes cercanas a los 2.500 m.s.n.m. o más. (p.ej. El altiplano Cundiboyacense) en los meses de poca nubosidad, como diciembre y enero.

- **Vendavales**

Cuando se presentan modificaciones en la temperatura y presión de los sistemas meteorológicos, es posible la presencia de vendavales, que se definen como ráfagas de viento que afectan un área en particular con velocidades que oscilan entre 50 y 80 kph en un intervalo corto de tiempo. De acuerdo a las proyecciones del IPCC, este tipo de fenómeno se clasifica como probable (66 % - 100 % de ocurrencia); sin embargo, se señala que tiene baja o nula confianza que sea atribuible a la actividad humana.

- **Inundaciones**

Como consecuencia de las fuertes lluvias y las crecientes torrenciales se podrían presentar las inundaciones, las cuales se producen por el desbordamiento de un cauce, debido a que su capacidad hidráulica se ha visto excedida por el volumen de agua generado por la lluvia.

De acuerdo al IPCC, este tipo de fenómeno varía regionalmente (como se indicó en el capítulo anterior, donde muestra a Colombia como un área sensible ante este tipo de fenómeno), o no presenta una tendencia clara, por eso se clasifica con baja confianza de ocurrencia; aunque, de acuerdo a los eventos presentados durante los últimos años en Colombia en temporadas del ENSO en su fase “La Niña” se ha observado aumento en la magnitud de este fenómeno al igual que en su frecuencia.

Hay poca certeza, debido a las limitaciones de evidencia, de que la actividad antropogénica haya afectado la frecuencia y magnitud de las inundaciones a nivel global (Kundzewicz et al., 2013). La fortaleza de la evidencia es limitada debido principalmente a la falta de registros de larga duración de cuencas poco instrumentadas o poco manejadas. De este modo, debido a las condiciones geográficas e hidroclimatológicas del país este fenómeno se consideraría de alta frecuencia.

- **Remoción en Masa y erosión**

Los movimientos en masa se potencian gracias a procesos geológicos, químicos, mecánicos y especialmente hidrometeorológicos. Todos estos fenómenos se podrían combinar para actuar sobre las laderas y desestabilizarlas ocasionando caída de grandes cantidades de material. De no tener considerado este tipo de eventos, las consecuencias podrían ser graves tanto desde el punto de vista de pérdidas humanas como de pérdida de materiales.

El IPCC considera que este tipo de eventos se vería incrementado en términos generales con alto grado de ocurrencia, y debido a la influencia antropogénica como a eventos hidroclimatológicos desencadenados por efectos del Cambio Climático.

Como lo ha señalado el IPCC, el aumento de la pluviosidad y vientos es meramente regional; sin embargo, se espera un aumento generalizado en este tipo de fenómenos, lo que en conjunto incrementa la degradación del suelo.

Las lluvias intensas son muy susceptibles a incrementar su frecuencia durante el siglo XXI en muchas partes del mundo (Seneviratne et al., 2012), lo que puede generar un incremento en la erosión del suelo y consecuentemente en la producción de sedimentos de las cuencas. Para el final del siglo XXI, se espera que el impacto del cambio climático en la erosión del suelo sea el doble que el impacto del cambio de cobertura (Yang et al., 2003).

Un clima más cálido podría afectar la humedad del suelo, la cobertura, la producción de biomasa, las precipitaciones de nieve a precipitaciones líquidas intensas; y en regiones semiáridas podría incrementar los eventos de incendios forestales con subsecuentes precipitaciones que originan precipitaciones intensas erosivas (NYMAN et al., 2011; Bussi et al., 2013). Los efectos del CC en la erosión del suelo y la carga sedimentológica frecuentemente son generadas por el manejo y actividades agrícolas (Walling, 2009).

- **Sequías o déficit de lluvias**

De acuerdo con los escenarios planteados para el CC y VC, los eventos extremos van a ser más frecuentes y más intensos, dentro de estos eventos extremos se clasifican las sequías, definidas como la insuficiente disponibilidad de agua en una región por un periodo prolongado (Se podrían presentar sequías de tipo meteorológico o hidrológico). Dentro de la actividad minera existen explotaciones que demandan gran cantidad de agua para su funcionamiento, tanto en la actividad de explotación como para el funcionamiento del resto de actividades adjuntas.

Al igual que con los aguaceros torrenciales, el IPCC indica que se presenta un comportamiento mixto, pero con tendencia al aumento de la intensidad y magnitud en la mayoría de las regiones.

Se tiene proyectado este fenómeno como probable (66 % a 100 % de probabilidad de ocurrencia).

- **Abatimiento de niveles freáticos**

Al disminuir la precipitación en una cuenca se altera el ciclo hidrológico de la misma, dentro de esos efectos se podría considerar la disminución del nivel freático del subsuelo, condición que podría ser considerada beneficiosa para la actividad minera, al ver disminuida la cantidad de bombeo requerida.

- **Elevación en el nivel medio del mar**

Debido al calentamiento de la atmósfera, se espera que el nivel del mar se vea afectado por dos motivos, el primero corresponde al derretimiento del agua que se encuentra en estado sólido (principalmente en el ártico) y la segunda a un incremento en el nivel debido a la expansión térmica del mar. Para Colombia, se han venido registrando los niveles del mar, tanto en el pacífico como en el atlántico para este último, se evidencia un ascenso entre 2,3 mm/año y 3,5 mm/año, mientras que en el Pacífico se observa un ascenso cercano a 2,2 mm/año.

Como se ha podido comprobar las amenazas al sector minero derivadas de los subeventos climáticos son múltiples y de diversa naturaleza y afectan distintos componentes de la actividad. Tampoco se puede constatar que haya uno u otro que prime sobre el resto, sino que más bien se trata de impactos distribuidos a lo largo de toda la actividad. Esto no deja de ser importante pues la identificación de amenazas no puede sino ser el resultado de estudios caso a caso, a la escala que se considere adecuada.

- **Efectos en el comportamiento volumétrico del suelo**

Por lo general al referirse a suelos que cambian su volumen se refieren a suelos expansivos. Es de aclarar que el suelo no solamente aumenta de volumen cuando aumenta el contenido de agua, se puede presentar disminución de volumen o contracción si el agua se pierde, son procesos inversos.

Una simple revisión del potencial expansivo, o del cambio de volumen, se puede realizar con el valor del Índice de plasticidad que es el resultado de realizar ensayos de laboratorio. Índices de plasticidad inferiores a 45 indican un bajo potencial, superiores a ese valor indican alto potencial de expansión. Estos valores por lo general se encuentran en materiales arcillosos, no necesariamente suelos. Rocas como la arcillolita poseen gran potencial de cambio volumétrico y esto se debe a que comparten el mismo contenido de minerales.

En la minería, como en las demás áreas de construcción, el factor de mayor importancia es la diferencia entre la humedad de campo en el momento de construcción y la humedad que se alcanzara en la vida útil por ejemplo de un túnel o galería. El dimensionamiento de las obras de estabilización, por ejemplo, para el túnel o galería se realiza en el momento de la construcción y al cambiar las condiciones de humedad del material (expansión) se puede incluso presentar el colapso de parte del túnel porque las obras no estaban diseñadas para soportar las cargas adicionales generadas por el aumento volumétrico del suelo. Para el caso de las arcillas otro factor a evaluar es el grado de preconsolidación del suelo.

Otro ejemplo del cambio volumétrico de suelo se da en la construcción por ejemplo de terraplenes (rellenos) donde el factor que definirá el cambio volumétrico del suelo es la compactación. Una compactación elevada favorece la expansión cuando aumenta el contenido de agua.

La predicción del comportamiento del suelo referente al cambio volumétrico presenta grandes incertidumbres y se requiere de un trabajo técnico que simule de la mejor manera posible el comportamiento de estos materiales en las condiciones reales de trabajo.

Tabla 5-1 Resumen Eventos amenazantes relevantes para el análisis de la vulnerabilidad del sector minero al cambio y la variabilidad climática

EVENTO	SUBEVENTO
INCREMENTO DE PRECIPITACIONES	Inundaciones
	Remoción en Masa y Erosión
	Efectos en el Comportamiento Volumétrico del Suelo
DISMINUCIÓN DE PRECIPITACIONES	Sequía
	Abatimiento del Nivel Freático
AUMENTO DE TEMPERATURA	Sequía
	Elevación del Nivel del Mar
VARIABILIDAD CLIMÁTICA	Inundaciones
	Olas Calor
	Heladas
	Vendavales

Fuente: ACON – Miembro Grupo INERCO, 2015

5.4 Secuencia Metodológica

La metodología propuesta se puede articular en un conjunto de pasos que pueden ser llevados a cabo linealmente o en paralelo en algún caso, y que se proponen aquí a modo de orientación.

- Paso 1: definición del área de análisis

La primera tarea consiste en la definición del área de análisis. Esta, como se ha señalado, depende de la implantación geográfica del sistema minero objeto de estudio, y de las condiciones del territorio en cuestión, pudiendo considerarse otras variables como la estructura del yacimiento minero.

La delimitación cartográfica del área de análisis se realizaría a partir de la georreferenciación de las unidades mineras pertenecientes al sistema, a partir de las fuentes de información existentes. La delimitación cartográfica específica del área de análisis debe responder a varios criterios que se definirán más adelante de forma detallada, siendo los más relevantes aquellos que tengan que ver con las áreas significativas para entender las amenazas derivadas del cambio climático para el sistema. Así, si una amenaza genéricamente relevante son las inundaciones, entonces, el área de análisis deberá tener en cuenta el área geográfica relevante para entender ese fenómeno.

- Paso 2: caracterización múltiple del área de análisis

La caracterización del área de análisis, hidrológica y climatológica, de suelos y geotecnia, y socioeconómica es una herramienta abierta para dejar establecidos los conocimientos básicos sobre las variables claves, tanto para entender los posibles eventos y subeventos futuros derivados del cambio climático y la variabilidad climática en el área de estudio, como para poder establecer qué tipo de amenazas podrían llegar a suponer esos eventos y subeventos en el sistema minero y en su entorno.

- Paso 3: caracterización de subeventos climáticos históricos en el área de análisis

Un paso muy relevante para estimar el posible comportamiento de las variables climáticas y de los subeventos que suponen una amenaza en el área de análisis es el estudio de su comportamiento histórico, y en particular en los últimos años o última década. El comportamiento histórico reciente, sin ser el único factor a considerar, sí constituye un pilar importante a la hora de estimar las condiciones estructurales del área frente al cambio climático y la variabilidad climática, pues ante el significativo rango de incertidumbre las variaciones climatológicas e hidrológicas en la historia reciente constituyen un factor significativo a tener en cuenta.

- Paso 4: identificación de la propensión del área de análisis a sufrir los subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática

Para cada uno de los subeventos de referencia, así como para los que pudiesen considerarse en el futuro se recomienda establecer formalmente lo que se ha denominado la susceptibilidad o propensión del territorio a sufrir cada uno de esos eventos. Para estos efectos se puede operar de forma cualitativa como cuantitativa. Para algunos subeventos, como la inundación o remoción

en masa, existen metodologías más o menos establecidas que permiten cuantificar esa susceptibilidad, que se deben utilizar para fijar este aspecto. En el caso en que no existan tales aproximaciones metodológicas, se deberá avanzar cualitativamente a partir de toda la información técnica disponible en cada caso. El propósito es simple, determinar para cada suceso en cuestión si la susceptibilidad es alta, media o baja, o en la escala que se considere adecuada.

- Paso 5: determinación de la posibilidad de ocurrencia de eventos y sucesos derivados del cambio y la variabilidad climática

Este paso conlleva dos momentos muy relacionados. En primer lugar, y a partir de las estimaciones internacionales y nacionales del comportamiento de las variables climáticas para los distintos escenarios de futuro, se debe definir el comportamiento más plausible de las mismas (precipitaciones y temperatura) para el área de análisis. Como se ha señalado en varias oportunidades, no es evidente que estimaciones realizadas para amplias áreas territoriales a unas escalas de bajo nivel de detalle puedan reflejar de forma confiable lo que sucederá en áreas más reducidas al interior de las mismas. No obstante, son un insumo irremplazable, aunque las conclusiones que se tomen en este momento, puedan ser matizadas posteriormente.

En segundo lugar, teniendo en cuenta, i) lo determinado en el momento anterior, ii) lo que se haya establecido en relación a la susceptibilidad del área de análisis para sufrir cada uno de los sucesos del cambio y la variabilidad climática, y iii) el comportamiento histórico reciente de estos sucesos en el área de análisis, se debe establecer el nivel (alto, medio, bajo) de posibilidad (plausibilidad) de ocurrencia de cada uno de los sucesos de referencia (inundaciones, remoción en masa y erosión, efectos en el comportamiento volumétrico del suelo, sequía, abatimiento del nivel freático, elevación del nivel del mar, olas calor, heladas, vendavales).

Se trata de la cualificación de la posibilidad de ocurrencia de cada suceso dadas unas condiciones estructurales, la susceptibilidad del territorio, el comportamiento histórico de determinadas variables, y las estimaciones disponibles relativas a las variables climáticas en escenarios futuros. Se busca establecer cualitativamente la posibilidad potencial de ocurrencia de cada suceso en esos escenarios futuros, o de establecer su plausibilidad, es decir, se

pretende establecer que dadas esas condiciones estructurales resulta razonable pensar que el suceso tenga lugar*.

- Paso 6: descripción detallada del sistema minero y de sus componentes

Este paso se puede realizar en paralelo a los anteriores, y consiste en caracterizar en detalle el sistema minero sujeto de evaluación y de cada uno de sus componentes. Es una actividad central para entender el funcionamiento singularizado de cada componente del sistema y disponer de un bagaje amplio para entender las posibles amenazas que pueden suponerle los distintos sucesos estimados. Todo sistema minero es un conjunto compuesto de operaciones similares, aunque guardan diferencias que son necesarias reflejar y que podrían dar lugar a amenazas diferentes.

- Paso 7: identificación y caracterización de las amenazas directas de los sucesos del cambio y la variabilidad climática sobre los componentes del sistema minero y su entorno.

Esta actividad consiste en cruzar la posibilidad de ocurrencia con su gradación correspondiente (alta, medio, baja) de cada suceso con cada uno de los componentes del sistema minero y derivar nuevamente la posibilidad (plausibilidad) de efecto del suceso sobre el componente o sobre el entorno del sistema minero. Se trata de la cualificación de la posibilidad de ocurrencia de un efecto dadas las condiciones estructurales de cada uno de los elementos considerados, el suceso, y el componente y el entorno, como se han caracterizado. Se busca establecer la posibilidad potencial de ocurrencia de ese efecto, o su plausibilidad sobre el suceso, el componente o el entorno.

- Paso 8: identificación y caracterización de las amenazas indirectas

Una vez identificadas las amenazas directas, es preciso establecer si esas pueden tener efectos a su vez en alguno de los componentes del sistema minero o en su entorno. Así mismo, se trata de la cualificación de la posibilidad de ocurrencia de un efecto dada las características de la amenaza directa identificada. Se pretende establecer si teniendo lugar la amenaza directa tal como es, es razonable pensar que ella puede afectar a otro componente, o al entorno del sistema minero, tal como ellos han sido descritos.

* El término posibilidad es de un uso más frecuente en contextos analíticos como éste, y tiene sentido. Ahora bien, la posibilidad se entiende en general como el establecimiento de una verosimilitud de ocurrencia fundada de hechos objetivos. La plausibilidad en tanto, siendo muy similar, enfatiza el que la verosimilitud de ocurrencia se establece mediante un razonamiento, sin mediar necesariamente una constatación objetiva.

- Paso 9: visita de campo al área de análisis

Como se ha visto, los pasos dados hasta este momento se basan en información secundaria disponible, en gestión de información cuantitativa, cuando es posible, básicamente para los cálculos de susceptibilidad, juicio experto, y en análisis cualitativos en la mayoría de los casos. La visita de campo tiene por objetivo contrastar los diversos análisis llevados a cabo, y las determinaciones realizadas con la información y el conocimiento disponible, en terreno, en especial con informantes cualificados. No se trata de una validación participativa, aunque en parte pudiera serlo, sino más bien de instituir en la mayor medida de lo posible el trabajo analítico realizado acercándose a la experiencia disponible.

- Paso 10: estimación de la gravedad de las amenazas identificadas

La estimación de la gravedad de las amenazas identificadas es el resultado de combinar el grado de posibilidad definida de la amenaza con el potencial de daño de la misma. La primera parte ha sido establecida ya cuando se identificaron las amenazas directas o indirectas, y la segunda parte se lleva a cabo en esta fase, para lo cual se ha propuesto una escala en el capítulo respectivo.

- Paso 11: estimación de la vulnerabilidad del sistema minero

La metodología propuesta asocia tanto la sensibilidad como la capacidad de adaptación, que son los dos factores componentes de la vulnerabilidad, con la presencia de un conjunto de cualidades que pueden ser medidas mediante indicadores específicos, habiendo la información disponible. De no estar disponible la información es posible, si los recursos lo están, llevar a cabo un proceso de recopilación y generación de información primaria, mediante una encuesta. Finalmente, si esto último no es posible se pone a disposición un mecanismo rápido de estimación de la vulnerabilidad basado simplemente en la participación porcentual de diversos tipos de minería (gran minería, mediana minería y pequeña minería y de subsistencia) en el sistema minero.

- Paso 12: integración de resultados y cálculo de riesgo

Las amenazas valoradas según su gravedad son ponderadas por el valor de vulnerabilidad del sistema minero y se obtiene el dato de riesgo para cada por componente del sistema minero y para su entorno.

- Paso 13: valoración de riesgos

Los riesgos así estimados son sometidos a un ejercicio de valoración, de priorización, para determinar su estrategia de gestión. Se ha propuesto en esta metodología un criterio para ordenar los riesgos que es de fácil aplicación, pero que puede ser reemplazado por una aproximación distinta que facilite un resultado de las mismas características.

A continuación se desarrollan brevemente los diversos aspectos metodológicos asociados a esta secuencia metodológica.

5.4.1 Identificación y caracterización de eventos y subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática en el área de análisis

Un elemento central en el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante los efectos del cambio y la variabilidad climática es la estimación de los eventos y subeventos derivados que se pudieran producir en el área geográfica de análisis.

En esta metodología se propone operar del siguiente modo, en un escenario en el cual se dispone de estimaciones de la posible variabilidad de precipitaciones y temperatura presentada en los escenarios de cambio climático a nivel nacional, que se considera el más probable:

- Identificar para el área de estudio las estimaciones de modificación climática/temperatura y precipitación provistas por las modelaciones del IDEAM más recientes para los distintos escenarios de referencia, en la actualidad las elaboradas para la Tercera Comunicación Nacional.
- Identificar para el área de estudio las estimaciones de modificación climática/temperatura y precipitación) provistas por las modelaciones regionales más recientes para los distintos escenarios de referencia.
- Identificar para el área de estudio las estimaciones de los posibles subeventos derivados de las modificaciones de precipitaciones y temperatura, en las modelaciones nacionales o regionales. Si estas estuviesen disponibles y fuesen coherentes con los modelos nacional o regional, se podrían adoptar estos resultados como las estimaciones más razonables para estimar las amenazas al sistema minero. Esta es la situación menos probable dado el estado actual de la información; de hecho, en los tres casos llevados a cabo en este estudio no se presentó este caso en ninguno de ellos.
- En caso de no darse el caso anterior, lo que resulta más probable es derivar las estimaciones relativas a las modificaciones de temperatura y precipitación disponibles para el área de estudio, siempre y cuando estas sean lo suficientemente confiables dada su escala de

modelación. Es decir, los subeventos, aunque no hayan sido modelados se pueden derivar (cualitativamente) de estimaciones confiables para el área de estudio a partir de las estimaciones de modificación de temperatura y precipitación para los escenarios estándares. Se dispondría de estimaciones para cada escenario, aunque de naturaleza cualitativa.

- En caso de no disponerse de estimaciones confiables de las variables de precipitación y temperatura para los escenarios estándar para el área de estudio, debido a la escalas de modelación, situación que se considera la más probable y, por tanto, es la base de esta metodología, se propone proceder de la siguiente forma, como se ha hecho en los casos piloto y como se propone hacer a futuro, mientras persista esta situación de información:
 - Identificar para el área de estudio las estimaciones de modificación climática (temperatura y precipitación) provista por las modelaciones del IDEAM más recientes para los distintos escenarios de referencia, en la actualidad las elaboradas para la Tercera Comunicación Nacional.
 - Identificar para el área de estudio las estimaciones de modificación climática (temperatura y precipitación) provista por las modelaciones regionales más recientes para los distintos escenarios de referencia.
 - Derivar cualitativamente **la tendencia** de modificación de temperatura y precipitación **para el conjunto de escenarios** para el área de estudio. Este es un ejercicio de trasposición de resultados alcanzados a una escala menor de detalle, a una de mayor de detalle, por lo que no parece ajustado pretender que se pueda derivar algo más que una tendencia para el conjunto de periodos considerados en los tres escenarios estándares de estimación de cambio y variabilidad climática.
 - Caracterizar la susceptibilidad del territorio del área de estudio que sufrirá los diversos subeventos relevantes para el análisis de vulnerabilidad y riesgo de la minería al cambio y la variabilidad climática. Identificar, a partir de la información disponible, para el área de estudio, su susceptibilidad a sufrir inundaciones, remociones en masa, heladas, oleadas de calor, etc. Se trata de un análisis experto que finaliza con una aseveración respecto del nivel de susceptibilidad del territorio a sufrir el subevento del caso. Esta actividad puede ser llevada a cabo mediante estimaciones cuantitativas, indicadores y otros, como se detallará en un capítulo posterior, pero no es probable que sea alcanzable para todos los subeventos en estudio. En ese caso el cálculo reemplaza a la estimación experta.
 - Llevar a cabo una revisión histórica de los subeventos en estudio para el territorio en cuestión. Esta revisión histórica ayuda a confirmar el dato de susceptibilidad, y por tanto ayuda a confirmar la propensión del área a sufrir los subeventos en estudio (inundaciones, remoción en masa, heladas, etc.)
 - Derivar a partir de i) la estimación de la tendencia la precipitación y temperatura, ii) la susceptibilidad del territorio a sufrir los subeventos en estudio, y iii) del registro histórico

de los mismos, la posibilidad de un incremento/decremento de los tales subeventos en el futuro.

El enunciado resultado de ese ejercicio se pudiera describir de forma similar al siguiente párrafo, extraído del caso piloto de la minería del carbón en la zona de Ubaté:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3ª Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de las precipitaciones en el área de análisis (entre 20 y 40 %). Las referencias históricas disponibles señalan un incremento importante de la frecuencia de inundaciones en la última década en el área de análisis. Finalmente, las condiciones naturales en términos de geología, edafología, sistema hidrológico y clima del área de análisis la hacen muy propensa a sufrir inundaciones. Todo ello sugiere que es muy posible que el área de análisis sufra fenómenos de inundación con una frecuencia e intensidad mayores a los que se han caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3ª Comunicación Nacional.

Lo que se ha obtenido como resultado de esta aproximación, antes que una estimación con cualquier grado de certidumbre de un posible evento futuro, es el convencimiento de que es razonable pensar que lo que se señala puede ocurrir, de facto ocurra. Es decir, se ha determinado la **plausibilidad de un evento**, no su probabilidad o grado de posibilidad. Este resultado tiene suficiente solidez para el análisis de riesgo estructural que guía esta propuesta metodológica.

6. CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO A SUBEVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Dada la más que probable ausencia de datos oficiales y razonables sobre los posibles subeventos que vaya a generar el cambio y la variabilidad climática en el área de estudio de vulnerabilidad y riesgo se propone llevar a cabo una caracterización de la susceptibilidad del área de estudio a sufrir los subeventos pertinentes en este caso, que como se dijo en el capítulo respectivo son:

- Olas de calor o heladas
- Vendavales
- Inundaciones
- Remoción en masa
- Sequías o déficit de lluvias
- Degradación de suelos y abatimiento de niveles freáticos
- Elevación del nivel del mar
- Efectos en el comportamiento volumétrico del suelo

Para estos efectos no se propone ningún procedimiento formalizado, sino más bien el uso del análisis experto que en función de la información disponible a nivel nacional y regional establezca si el área de estudio es más o menos propensa a sufrir cada uno de los eventos estudiados.

7. REVISIÓN DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL TERRITORIO ANTE SUBEVENTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Otro elemento recurrente en las metodologías de evaluación de vulnerabilidad y riesgo, y recomendado para identificar los posibles futuros subeventos en el área de análisis y es revisar el comportamiento histórico y la evolución de estos subeventos en el área de análisis.

De hecho, la Hoja de Ruta para la elaboración de los planes de adaptación dentro del plan nacional de adaptación al cambio climático señala: “en este punto del proceso, se retoma esa primera revisión, con el propósito de diagnosticar el estado actual del sistema, de acuerdo con las características de los impactos que han tenido lugar”.

Dicho diagnóstico se constituirá en la línea de base del sistema. Las variables a través de las cuales se describe el estado actual del sistema se deben elegir de forma que aporten claridad sobre el tipo de problemática que ha dado pie a la materialización de los impactos, y que por lo tanto podrían ajustarse para lograr una mejor adaptación al cambio climático.

Esta descripción se desarrollará con base en información cuantitativa, cualitativa o una mezcla de ambas, según las características de los descriptores disponibles sobre pérdidas, daños, y procesos de debilitamiento asociados a eventos hidrometeorológicos y a cambios graduales del clima (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 30).

En este caso el análisis histórico debe dar cuenta de las singularidades climáticas históricas atribuibles a modificaciones del clima a largo plazo en el área de análisis y de los impactos que el sistema minero haya podido sufrir durante esos eventos.

8. IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS AL SISTEMA MINERO

Una vez se han establecido los posibles subeventos futuros derivados del cambio y la variabilidad climática, el siguiente paso consiste identificar las amenazas que esos subeventos pueden suponer para el sistema minero en cuestión.

Se distinguen en esta metodología tres tipos de amenazas: directas, indirectas y de entorno.

- **Identificación de las amenazas directas e indirectas**

Una amenaza existe si un subevento derivado de las modificaciones de las variables climáticas coincide espacio temporalmente con algún componente del sistema minero y esa coincidencia supone una posibilidad del daño para éste último.

Luego entonces, se establecerá si el evento “remociones en masa” puede afectar a un componente caracterizado de una manera determinada, ubicado en una zona geográfica específica y caracterizada.

Los efectos de los subeventos climáticos identificados en capítulos anteriores afectan de manera diferenciada a los distintos componentes materiales e inmateriales del sistema minero, que de acuerdo con el planteamiento metodológico de esta investigación, constituye la integración de las características singulares del negocio minero. Los impactos de estos eventos sobre la industria minera no son fáciles de identificar en todos los casos y pueden originar eventos de segundo orden más complejos de reconocer y mitigar (Sharma, van De Graaff, & Loechel, 2013).

En todo caso, identificar las amenazas supone cruzar los subeventos pertinentes cualificados en las fases anteriores con los componentes del sistema minero en el área de estudio y determinar la plausibilidad de tal eventualidad.

Como resultado de este ejercicio se obtiene una aseveración del siguiente tipo, extraída del caso piloto de la minería del carbón en la provincia de Ubaté:

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones puede suponer la generación de filtraciones debidas a la permeabilidad de los mantos de carbón y las capas de arena que pueden exceder los sistemas de bombeo interno de la mina, lo que sugiere alta posibilidad de que se produzcan inundaciones en los túneles que afectarían las actividades extractivas, constituyendo una amenaza a este componente (extractivo).

Como resultado de este ejercicio se obtiene una matriz de amenazas de los subeventos por componente derivados del cambio y la variabilidad climática para el sistema minero en cuestión.

Ahora bien, es posible que una amenaza directa a un componente del sistema minero genere una amenaza sobre otro componente. Por ejemplo, una amenaza material al componente extractivo puede afectar al componente de transformación al limitar el material transformable.

Por tanto, un paso necesario y subsecuente es la determinación de las amenazas indirectas al sistema minero, lo que supone cruzar las amenazas directas con todos los componentes del sistema minero.

- **Identificación de las amenazas de entorno**

El análisis de vulnerabilidad y riesgo debe tener en consideración el entorno del sistema minero que en este sentido tiene influencias en un doble sentido; los subeventos del cambio y la variabilidad climática pueden suponer una amenaza directa al entorno social ambiental, territorial y de gobernabilidad del sistema minero, y generar una afectación indirecta a algún componente del sistema minero. Por otro lado, una amenaza directa sobre el sistema minero puede suponer una indirecta sobre el entorno.

Es por tanto relevante tener en cuenta en el proceso de identificación de las amenazas directas como indirectas, el entorno socio ambiental, territorial y de gobernabilidad.

Conocer las amenazas que los subeventos del cambio y la variabilidad climática suponen para el entorno del sistema minero, por consiguiente, disponer de los resultados de un análisis de vulnerabilidad y riesgo del territorio en cuestión. Estos estudios son muy escasos y raramente disponibles. Por ende, se propone una metodología de trabajo para llevar a cabo esa identificación, pero se trata sin duda de un sustituto, que en el futuro será probablemente innecesario, en la medida que los análisis territoriales de vulnerabilidad se vayan elaborando a lo largo del país.

Para estos efectos se propone llevar a cabo una caracterización socioeconómica rápida del área de análisis, que tiene como objetivo conocer este componente del sistema minero con mayor detalle.

Una vez se ha caracterizado el entorno y se dispone de la estimación de los subeventos pertinentes para el área de estudio, se puede realizar el mismo ejercicio de cruzarlos con la descripción de entorno para derivar de forma genérica si el subevento pudiera significar una amenaza para alguno de los componentes complejos del entorno.

Como resultado de ese proceso se obtiene una aseveración similar a la amenaza directa, pero más compleja. Un ejemplo extraído igualmente del caso piloto de la minería de carbón en la provincia de Ubaté.

La posibilidad de inundaciones en la provincia sugiere que es muy posible se puedan generar importantes amenazas a los sistemas de transporte debido a la mala calidad de los caminos, provocando situaciones de aislamiento de poblaciones en entornos rurales, así como causar daños a viviendas y enseres personales. Además, se podrían generar importantes problemas en servicios públicos susceptibles como el de energía, acueducto, alcantarillado. En situaciones de crisis prolongadas esto podría conllevar a riesgos a la salud, lo que constituye una amenaza para el entorno del sistema minero.

9. VISITA DE CAMPO AL ÁREA DE ANÁLISIS

La visita de campo al área de análisis es una etapa fundamental para el buen desarrollo de la identificación de las amenazas y para el conjunto de análisis de vulnerabilidad y riesgo factores de vulnerabilidad, ya que permite constatar la información consultada a través de revisión bibliográfica y los resultados en términos e identificación de eventos, subeventos y amenazas en terreno.

Para llevar a cabo esta actividad, lo principal es identificar los actores estratégicos a nivel de entidades públicas y privadas que puedan tener información relevante para el análisis.

10. VALORACIÓN DE LAS AMENAZAS IDENTIFICADAS

En el paso anterior, el trabajo de campo ha servido para validar o rectificar si las amenazas que se han estimado para cada suceso específico derivado del cambio o la variabilidad climática, pueden suponer para cada uno de los componentes del sistema minero analizado. Con ello se han identificado las amenazas para cada componente del sistema minero.

A continuación se deben valorar las amenazas en cuestión en función de su gravedad, para poder priorizar la gestión de las amenazas y la vulnerabilidad. Para estos efectos se propone utilizar un indicador de gravedad compuesto de dos variables, la de probabilidad o posibilidad de la amenaza y el daño que ésta pueda suponer al componente afectado.

En concreto se ha utilizado en primer lugar para valorar el potencial de daño de la amenaza el siguiente índice compuesto de dos variables:

Tabla 10-1 Escala para definir el potencial de daño de la amenaza

Potencial de daño esperado				
Alcance: Potencial modificación elemento afectado				
Centralidad: Importancia elemento afectado		Marginal	Parcial	Sustantivo
	Secundario	1	1	2
	Importante	1	2	3
	Central	2	3	3
Centralidad	1	El evento afecta un elemento secundario del componente		
	2	El evento afecta un elemento importante del componente		
	3	El evento afecta un elemento central del componente		
Alcance	1	El evento tiene el potencial de modificar marginalmente el elemento afectado del componente		
	2	El evento tiene el potencial de modificar parcialmente el elemento afectado del componente		
	3	El evento tiene el potencial de modificar sustantivamente el elemento afectado del componente		

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Luego, la gravedad es igualmente un índice compuesto de la posibilidad y del potencial de daño tal como sigue:

Tabla 10-2 Escala para definir la gravedad de la amenaza

Gravedad amenaza				
	Posibilidad daño			
		Bajo	Medio	Alto
Potencial daño	Bajo	Secundaria	Secundaria	Relevante
	Medio	Secundaria	Relevante	Grave
	Alto	Relevante	Grave	Grave

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Cabe recordar que la posibilidad de ocurrencia de la amenaza debe quedar definida en el mismo momento que ella se identifica.

Esto permite valorar las amenazas al sistema minero en Graves, Relevantes y Secundarias, facilitando así la identificación y valoración de los factores de vulnerabilidad de un sistema minero específico ante el cambio y la variabilidad climática.

De este ejercicio se obtiene una aseveración del siguiente tipo, extraída nuevamente del caso piloto de la minería del carbón de Ubaté:

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere que se puedan generar filtraciones debidas a la permeabilidad de los mantos de carbón y las capas de arena que pueden exceder los sistemas de bombeo interno de la mina, lo que sugiere una alta posibilidad de que se produzcan inundaciones en los túneles que afectarían las actividades extractivas, con un potencial de daño alto al componente extractivo, constituyendo en síntesis una **amenaza grave** para al sistema minero.

11. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA MINERO

Se recuerda que el riesgo es definido de acuerdo a la siguiente formula:

Riesgo = f (Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad).

Por tanto, para avanzar en la identificación del riesgo es necesario definir la exposición, término que se entiende como la determinación de la mera presencia del elemento que podría ser afectado por una amenaza. El propósito del análisis es determinar si lo que es una posibilidad de afectación se puede llegar a materializar, ya que el elemento afectado está presente en la coordenada espacio temporal en la cual también se da el evento.

En el caso de la metodología propuesta se puede considerar que la presencia de la minería en el área de análisis es cierta, o con una probabilidad igual a uno, pues justamente el área se ha escogido por haber presencia minera. Se supone que se dispone de información para la delimitación del área de análisis y no se ha puesto en discusión tal disponibilidad.

Pudiera ser que para algunas amenazas esa presencia minera sea ponderada por otras variables de carácter geográfico estimables. Es decir, si se evidenciara amenaza por inundación, puede ser razonable estimar la exposición en función de la presencia de unidades mineras en esas áreas inundables y no en toda el área de análisis.

12. ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA MINERO

De acuerdo con la función de riesgo el siguiente paso consiste en estimar la vulnerabilidad del sistema minero:

Riesgo = f (Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad).

Vulnerabilidad = f (Sensibilidad, Capacidad de Adaptación).

A continuación se precisan las definiciones metodológicas de cada uno de estos aspectos.

- **Sensibilidad del sistema minero**

Las estimaciones de amenazas se han entendido como afectaciones a cada uno de los componentes del sistema. La exposición, sin embargo, hace referencia al sistema minero como un todo. Se trata de estimar la presencia de unidades mineras en un área, no de cada componente. Es el caso también de la sensibilidad y de la capacidad de adaptación. Se trata de cualidades del sistema como un todo.

Se ha entendido la sensibilidad como “susceptibilidad o predisposición del sistema minero amenazado a verse afectado”. La cuestión, por tanto, es definir qué determina esta susceptibilidad.

Teniendo esto en consideración, se entiende que la susceptibilidad del sistema minero a sufrir daños depende de su fortaleza o por el contrario de su debilidad como sistema económico minero.

Por fortaleza del sistema se entiende básicamente estructuración. Es decir, el sistema será tanto más fuerte como mejor estructurado se encuentre.

En tanto se trata de un sistema compuesto por unidades económicas destinado a generar valor, su grado de estructuración se ha considerado que depende de:

- Recursos institucionales: la existencia institucionalizada de la actividad minera de acuerdo al marco legal vigente.
- Recursos directivos: la existencia y calidad de su dirección y gerencia empresarial.
- Recursos técnicos: la existencia y calidad de su dirección y gestión técnica/ recursos tecnológicos.
- Recursos de calidad: la existencia de sistemas de gestión de calidad y ambiental.

- Recursos de materiales: la disponibilidad de recursos materiales.

En este sentido la sensibilidad del sistema minero pudiera medirse a partir de variables que cualificarán la disposición de cada uno de estos recursos, como se indica en la siguiente tabla, que la propuesta de criterios que pueden medir ese grado de estructuración del sistema minero.

Tabla 12-1 Criterios para la determinación de la sensibilidad del sistema minero

Recurso	Sentido	Indicador
Recursos institucionales: La existencia institucionalizada de la actividad minera de acuerdo al marco legal vigente.	Disponibilidad de la existencia como persona jurídica y con todos los permisos y estatutos legales vigentes para la realización de la actividad.	Existencia legal formal de la empresa minera vigente en la Cámara de Comercio. Título minero legalmente expedido.
Recursos directivos: La existencia y calidad de su dirección y gerencia empresarial.	Disponibilidad de un sistema articulado de dirección empresarial.	Existencia de Junta Directiva.
Recursos técnicos: La existencia y calidad de su dirección y gestión técnica/ recursos tecnológicos.	Disponibilidad de una guía para los trabajos técnicos de la actividad.	Disponibilidad de PTO.
Recursos de calidad: La existencia de sistemas de gestión de calidad y ambiental.	Disponibilidad de un sistema de seguimiento y control de la calidad y de gestión ambiental.	Acogimiento a ISO respectivas.
Recursos de materiales: La disponibilidad de recursos materiales.	Disponibilidad de recursos materiales para la realización de la actividad económica.	Capital fijo y fuentes de inversión.

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

- Estimación de la capacidad de adaptación del sistema minero

Se ha definido la capacidad de adaptación como la facultad del sistema afectado de afrontar y recuperarse ante un evento que materialice la amenaza. Se trata de una definición ampliamente aceptada en la literatura, aunque como en el caso de la sensibilidad no se haya conceptualizado suficientemente por la misma orientación hacia el riesgo operativo de la mayoría de los análisis. Al igual que en el caso anterior, lo razonable es definir la capacidad de adaptación del sistema minero, entendiendo este sistema como una entidad compuesta de unidades económicas organizadas.

Por tanto, se asocia en esta metodología la capacidad de adaptación a la disponibilidad de recursos en general. Sería esta disponibilidad la que asegura una mayor capacidad de adaptación. No obstante, el resultado es muy similar al del análisis de sensibilidad, solo que en este caso la disponibilidad de recursos, más que revelar la estructura demuestra la capacidad de acción, y podría estar limitado a menos recursos.

En ese sentido los indicadores debieran apuntar más que a la mera existencia del recurso a su nivel, como lo revela de forma ilustrativa la siguiente tabla.

Tabla 12-2 Criterios para caracterizar la capacidad de adaptación del sistema minero

Recurso	Sentido	Indicador
Recursos financieros: rentabilidad de la empresa.	Disponibilidad o no de recursos financieros para afrontar situaciones excepcionales.	Niveles de rentabilidad empresarial.
Recursos técnicos: La existencia y calidad de su dirección y gestión técnica / recursos tecnológicos.	Disponibilidad de análisis de riesgos y planes de emergencia. Disponibilidad de personal técnico para enfrentar eventualidades Capacidad de innovación.	Disponibilidad de Planes de emergencia / Porcentaje de personal técnico.
Recursos de materiales: La disponibilidad de recursos materiales.	Disponibilidad de recursos materiales para enfrentar eventualidades.	Capital fijo.
Recursos humanos: disponibilidad de recursos humanos capacitados	Disponibilidad de empleados capacitados para enfrentar riesgos y eventos disruptivos.	Porcentaje de personal técnico profesional sobre el personal total

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

- Índice de vulnerabilidad

A partir de los datos obtenidos para los índices de sensibilidad y capacidad de adaptación, es posible determinar la vulnerabilidad del sistema minero de acuerdo a una combinación de ambos parámetros, sensibilidad y capacidad de adaptación. Para estos efectos se utiliza la escala recogida en la siguiente tabla:

Tabla 12-3 Escala para determinar índice de vulnerabilidad

Índice Capacidad adaptación	Índice de sensibilidad		
	Baja	Media	Alta
ALTA	Baja	Media	Media
MEDIA	Baja	Media	Alta
BAJA	Baja	Alta	Alta

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

13. CÁLCULO DEL RIESGO

Los riesgos son estimados con base en la valoración de las amenazas y la vulnerabilidad del sistema, de acuerdo a la fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{Gravedad del daño esperado} * \text{Índice de vulnerabilidad}$$

Este cálculo se realiza igualmente mediante una escala compuesta por esas dos variables, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 13-1 Índice de riesgo

		Vulnerabilidad Sistema Minero		
		Baja	Media	Alta
Gravedad amenaza	Baja	Baja	Baja	Baja
	Media	Media	Media	Alta
	Alta	Media	Alta	Alta

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

14. LÍNEAS ESTRATEGIAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LA MINERÍA AL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN COLOMBIA

Un aspecto central en el proceso de adaptación al cambio y la variabilidad climática es la definición de las iniciativas a tomar para disminuir la vulnerabilidad del sector frente a los posibles riesgos identificados. En el marco de este proyecto se han identificado grandes líneas estratégicas en este sentido, y medidas más específicas, que en el presente informe no se incorporan por razones de espacio. Igualmente, se propone un marco genérico para definir estas líneas, y acciones específicas en el marco de la planificación de la adaptación en cada sistema minero.

Anteriormente se argumentó sobre la importancia de que las grandes líneas de adaptación de la minería se canalicen hacia la atención de la disponibilidad hídrica, el consumo energético y los planes de cierre. Como se indicó en el mismo capítulo, este enfoque debe atenderse preferiblemente con visión de construcción e incremento de la resiliencia del sistema como condición más deseada.

Según los planteamientos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) las grandes líneas estratégicas para la adaptación deben:

- Considerar todos los aspectos financieros y los análisis de costo – efectividad de las medidas preventivas propuestas.
- Enfatizar sobre el uso de fuentes alternativas de energía limpia y renovable, la eficiencia energética de los procesos y el ahorro de energía.
- Erradicar las tecnologías y los procesos obsoletos para avanzar en mecanismos de producción limpia.
- Promover la captura de carbono a través del mejoramiento de suelos, la reducción de la deforestación y la reducción de la degradación de los terrenos.
- Incentivar la producción de conocimiento científico y técnico en torno al cambio climático que contribuya en los procesos de toma de decisiones (Spilsbury, et. al., 2011, pág. 56).

De acuerdo con lo anterior y acogiendo las indicaciones presentadas en el PNACC, se han fijado cinco líneas estratégicas que guíen la construcción de capacidades de resiliencia, resistencia, respuesta y realineación de los sistemas mineros presentes en cada uno de los distritos mineros del país, así:

14.1 Línea estratégica 1. Concientizar al sector minero sobre la importancia de la adaptación al cambio climático

En la adaptación, más que en la mitigación, es donde se encuentran las verdaderas alternativas para la protección de las operaciones, los activos y la logística de los sistemas mineros. La reducción de la vulnerabilidad comienza con el cambio de paradigmas que han liderado hasta ahora la posición sectorial frente al cambio climático, en particular, en lo referido a la planificación del territorio posminero.

Si bien es cierto que la adopción de las medidas de adaptación puede representar altos costos, también lo es que los efectos de no implementarlas pueden resultar más gravosos en el futuro. Por esta razón, la clasificación del tipo de riesgos debe incluir valoraciones técnico económicas.

14.2 Línea estratégica 2. Generar información y conocimiento para evaluar el riesgo climático en los distritos mineros

Los efectos del cambio climático aún son inciertos, en particular a escala local donde muchos procesos influyen sobre la vulnerabilidad y la sensibilidad. Es por esto que se requieren nuevos conocimientos sobre los impactos climáticos futuros.

Es necesario elaborar sistemas de modelación de escenarios climáticos futuros más detallados e informados para a partir de estos determinar con mayor nivel de certeza los riesgos, las amenazas y los impactos reales del cambio climático sobre los sistemas mineros.

La vulnerabilidad de los sistemas mineros excede la dependencia hídrica y energética exigiendo de la industria mayores investigaciones sobre sus verdaderas alternativas adaptativas integrales.

14.3 Línea estratégica 3. Planificar el uso del territorio minero bajo criterios de adaptación climática

La participación de los actores mineros debe ser incluida en los planes de ordenamiento según lo establecido por la Ley 388 de 1997, el Decreto 150 de 1995 y las guías de planificación territorial (Minambiente, 2004, pág. 7), de cuencas (Minambiente, 2014 b, pág. 32) y del recurso hídrico (Minambiente, 2014 c, pág. 29).

La planificación de los territorios y los recursos no renovables debe considerar los eventos climáticos extremos esperados en el futuro junto con aquellos ocurridos en el pasado. En este aspecto la información obtenida por la industria minera durante la elaboración de sus estudios de impacto ambiental será de gran importancia.

14.4 Línea estratégica 4. Implementar medidas de adaptación incremental para el sistema minero

Aún bajo la fuerte carga operativa propia de las actividades extractivas, se requiere integrar la planificación de la adaptación puesto que evadir esta labor incrementa la vulnerabilidad económica, operativa y logística del sistema minero.

Esta planificación precisa llevar los fundamentos y los requerimientos de los reportes científicos hasta los niveles operativos, administrativos, logísticos y normativos propios de la industria minera.

14.5 Línea estratégica 5. Fortalecer las capacidades de resiliencia y reacción en los sistemas mineros

Es necesario promover la exploración de tecnologías alternativas para los diferentes procesos administrativos, operativos y logísticos que componen el ciclo minero. Esto implica incrementar el conocimiento regional para evaluar e integrar al análisis las nuevas oportunidades, las tecnologías más limpias, las interrelaciones de la minería con el territorio y la información climática local, entre otros.

Con base en estas cinco líneas estratégicas se proponen las siguientes estrategias de adaptación al cambio climático para la industria minera.

14.6 Estrategias de adaptación para el sistema minero

Una correcta formulación debe establecer el orden de prioridad de las acciones a partir de la valoración y categorización (aceptable, mitigable, evitable o transferible a un actor más idóneo) del riesgo climático de los componentes del sistema minero. De esta manera, se pueden conocer los tipos de objetivos de adaptación requeridos (resistencia, resiliencia, respuesta y realineación). Se proponen nueve estrategias distribuidas en las cinco grandes líneas expuestas anteriormente:

14.6.1 Con base en la línea estratégica 1

Concientizar al sector minero sobre la importancia de la adaptación climática, se expone una estrategia de adaptación, así:

14.6.1.1 Promover el liderazgo corporativo en temas de adaptación climática

Para avanzar hacia una industria minera adaptada al cambio climático se requiere el compromiso de los tomadores de decisiones de cada empresa, independientemente de la capacidad organizacional o financiera de la unidad productiva.

Objetivo:

- Integrar al sector productivo en la construcción de los planes de adaptación. Los directivos de las unidades mineras productivas deben comprender y comprometerse con la importancia de implementar medidas de adaptación climática.

14.6.1.2 Garantizar la seguridad y durabilidad de la infraestructura y la logística utilizada por el sistema minero

El cambio climático producirá cambios en la infraestructura de transporte (acceso de suministros y distribución de la producción) al igual que en la de suministros hídricos y energéticos, entre otros. Por esta razón, los sistemas mineros deberán prever tales cambios con el objeto de garantizar el desempeño óptimo de su actividad futura.

Objetivo:

- Evaluar las condiciones de la infraestructura y la logística mineras a la luz del cambio climático. La vulnerabilidad de estos aspectos se ha reconocido como las principales causantes del colapso de los sistemas mineros al enfrentar eventos climáticos extremos.

14.6.2 De la Línea estratégica 2

Generar información y conocimiento para evaluar el riesgo climático en los distritos mineros, se desprenden dos estrategias.

14.6.2.1 Generar iniciativas público privadas para que las empresas inicien sus estudios y mejoramiento de los componentes según los tipos de sistema minero

La deficiencia en el conocimiento de los impactos del cambio climático sobre la minería es una brecha que debe solucionarse para contar con sistemas productivos más limpios y adaptativos, al igual que con relaciones más constructivas y eficientes entre la minería, las comunidades y los entes gubernamentales en sus diferentes niveles.

Objetivos:

- Identificar, analizar y evaluar los riesgos del cambio climático. La correcta adaptación

dependerá del grado de conocimiento que se tenga de las amenazas, las vulnerabilidades, los impactos y, consecuentemente, de las medidas a adoptar.

- Identificar medidas y tecnologías más rentables que faciliten la adaptación climática en la minería.
- Incluir en la planificación adaptativa a las empresas mineras, asociaciones mineras, instituciones (universidades, entidades públicas y centros de investigación).

14.6.2.2 Desarrollar el conocimiento y la experiencia

En el conocimiento del cambio climático y la experiencia en la gestión de sus efectos persisten vacíos. Salvar estas dificultades precisa soportar las decisiones adaptativas en los desarrollos científicos y técnicos más recientes en torno a los impactos y la vulnerabilidad del sistema minero.

Objetivos:

- Mejorar la modelación climática y direccionar la comunicación de sus resultados hacia una mayor comprensión de los riesgos regionales.
- Mejorar los sistemas de recolección de agua y tratamiento de vertimientos.
- Valorar los impactos del cambio climático a que se verán expuestos los territorios mineros después del cierre y abandono de las actividades extractivas.
- Fomentar la transferencia de conocimiento y experiencia hacia el público en general y al sector minero en particular. El uso de herramientas como el Sistema de Información Minero Nacional y talleres regionales permitirá divulgar la información más actualizada referente al cambio climático y la minería.

14.6.3 Para la Línea estratégica 3

Planificar el uso del territorio minero bajo criterios de adaptación climática se presentan dos estrategias

14.6.3.1 Integrar la adaptación al cambio climático de la industria minera en la administración pública (planificación territorial)

Una visión coherente del desarrollo sostenible exige una integración profunda de los riesgos del cambio climático en la administración pública. Por lo tanto, es necesaria la cooperación de todos los actores gubernamentales para garantizar la articulación eficiente de las acciones tendientes a la adaptación climática.

Objetivos:

- Reglamentar la reducción de la producción de gases de efecto invernadero en los procesos mineros.
- Fortalecer la coherencia y la cooperación interinstitucional. El éxito de las acciones a desarrollar requiere la integración de un gran número de actores locales, regionales y nacionales con injerencia territorial.

14.6.3.2 Incluir los actores mineros dentro de la planificación del territorio, las cuencas y el recurso hídrico

La industria minera, como miembro activo de las economías y las comunidades regionales, es un actor esencial en la planificación territorial y sus aportes, basados en observaciones directas, estudios y experiencia, representan herramientas de la mayor importancia en la construcción de adaptación regional en condiciones de información escasa ante el cambio climático.

Objetivos:

- Promover la participación de la industria minera en los diferentes escenarios de planificación territorial. La exclusión de los actores mineros de estos procesos incrementa la vulnerabilidad del sistema mismo y del territorio bajo ordenamiento pues supone decisiones tomadas bajo condiciones de información asimétrica.
- Incluir la información colectada y la experiencia adquirida por el sector minero durante la fase de diagnóstico territorial. Los términos de referencia de los estudios de impacto ambiental exigen el desarrollo de algunos estudios que son de gran utilidad durante el diagnóstico y la formulación de los planes de ordenamiento territorial.

14.6.4 Con base en la Línea estratégica 4

Implementar medidas de adaptación incremental para el sistema minero, se exponen dos estrategias:

14.6.4.1 Gestionar los riesgos del cambio climático para reducir las vulnerabilidades

La integración del conocimiento de la fuente de la amenaza, los impactos generados y la vulnerabilidad del sistema minero permitirá construir planes de adaptación bien informados y proyectar las inversiones requeridas en cada caso para enfrentar eventos extremos superiores a los registrados en el pasado.

Objetivos:

- Implementar sistemas de comunicación eficaces sobre los riesgos potenciales que plantea el

cambio climático para la industria minera.

- Examinar esquemas que ayuden en el reforzamiento mutuo entre las actividades de mitigación y las de adaptación en las regiones mineras.
- Establecer los actores más idóneos en la gestión de cada riesgo y fortalecer mecanismos de coordinación eficientes.

14.6.4.2 Explorar medidas de adaptación eficientes y bajo esquemas de análisis de costo efectividad

La selección de las opciones de medidas de adaptación debe realizarse bajo criterios de viabilidad ambiental, social y económica para diferentes escenarios de tiempo. Algunas de estas medidas podrán representar incluso efectos económicos positivos a lo largo de la vida útil del sistema minero (reducción en consumo energético y emisiones atmosféricas).

Objetivos:

- Explorar sistemas alternativos que ofrezcan adaptabilidad en cada uno de los riesgos identificados.
- Incluir estudios de factibilidad económica en los procesos de planificación de la adaptación.

14.6.5 De la Línea estratégica 5

Fortalecer las capacidades de resiliencia y reacción en los sistemas mineros, se derivan las siguientes estrategias

14.6.5.1 Mantener los servicios ecológicos esenciales que contribuyen al desempeño industrial minero, el bienestar humano y la prosperidad de las comunidades presentes en el distrito minero

La industria minera debe hallar las mejores maneras de realizar su actividad garantizando que su interrelación con el territorio, y las respuestas de éste al cambio climático resultarán benéficas para sí misma y para el bienestar de las comunidades.

Objetivos:

- Dar prioridad a la conservación y la protección de las fuentes hídricas. Antes que un elemento de conflicto entre comunidades e industria minera, la conservación y la protección del agua debe ser un tema de integración dado que indiscutiblemente es del mayor interés para ambos.
- Preservar la resiliencia de los ecosistemas. Los ecosistemas proveen una amplia gama de bienes y servicios y, en consecuencia, garantizar su resiliencia es de gran importancia para la industria minera.

14.6.5.2 Ofrecer capacitación especializada en adaptación al cambio climático

El conocimiento sobre los orígenes y las afectaciones del cambio climático debe estar al alcance de todos los empleados de los sistemas mineros para garantizar una adecuada planificación y adopción de los planes de adaptación.

Objetivos:

- Evaluar los niveles de preparación para los riesgos de adaptación al cambio climático en la industria de los minerales. Esta evaluación permitirá enfocar la capacitación requerida según los rangos de riesgo climático de cada sistema.
- Incorporar el cambio climático en los planes de estudio. Los conceptos y los aspectos del cambio climático deben incluirse en todos los grados de educación formal desde básica primaria hasta cursos de posgrado.

Implementación de Mapas de Ruta para la Adaptación del Sector Energético al Cambio Climático (incluyendo el uso de la Herramienta de Servicios Ecosistémicos) e identificación de Factores de Vulnerabilidad del Sector Minero y de Líneas Gruesas de Medidas de Adaptación

Tabla 14-1 Líneas estratégicas, estrategias y objetivos para la adaptación de los sistemas mineros colombianos

LÍNEAS ESTRATÉGICAS	ESTRATEGIAS	OBJETIVOS
Línea estratégica 1. Concientizar al sector minero sobre la importancia de la adaptación climática	Promover el liderazgo corporativo en temas de adaptación climática	Integrar al sector productivo en la construcción de los planes de adaptación
	Seguridad y durabilidad de la infraestructura y la logística utilizada por el sistema minero	Evaluar las condiciones de la infraestructura y la logística mineras a la luz del cambio climático
Línea estratégica 2. Generar información y conocimiento para evaluar el riesgo climático en los distritos mineros	Iniciativas público privadas para que las empresas inicien sus estudios y mejoramiento de los componentes según los tipos de sistema minero Desarrollar el conocimiento y la experiencia	Identificar, analizar y evaluar los riesgos del cambio climático.
		Identificar medidas y tecnologías más rentables que faciliten la adaptación climática en la minería
		Incluir en la planificación adaptativa a las empresas mineras, asociaciones mineras, instituciones (universidades, entidades públicas y centros de investigación).
		Mejorar la modelación climática y direccionar la comunicación de sus resultados hacia una mayor comprensión de los riesgos regionales
		Mejorar los sistemas de recolección de agua y tratamiento de vertimientos
Línea estratégica 3. Planificar el uso del territorio minero bajo criterios de adaptación climática	Integrar la adaptación al cambio climático de la industria minera en la administración pública (planificación territorial) Incluir los actores mineros dentro de la planificación del territorio, las cuencas y el recurso hídrico	Reglamentar la reducción en la producción de gases de efecto invernadero en los procesos mineros
		Fortalecer la coherencia y la cooperación interinstitucional
		Promover la participación de la industria minera en los diferentes escenarios de planificación territorial
Línea estratégica 4. Implementar medidas de adaptación incremental para el sistema minero	Gestionar los riesgos del cambio climático para reducir las vulnerabilidades	Incluir la información colectada y la experiencia adquirida por el sector minero durante la fase de diagnóstico territorial
		Implementar sistemas de comunicación eficaces sobre los riesgos potenciales que plantea el cambio climático para la industria minera
	Explorar medidas de adaptación eficientes y bajo esquemas de análisis de costo efectividad	Examinar esquemas que ayuden en el reforzamiento mutuo entre las actividades de mitigación y las de adaptación en las regiones mineras
		Establecer los actores más idóneos en la gestión de cada riesgo y fortalecer mecanismos de coordinación eficientes.
Línea estratégica 5. Fortalecer las capacidades de resiliencia y reacción en los sistemas mineros	Mantenimiento de los servicios ecológicos esenciales que contribuyen al desempeño industrial minero, el bienestar humano y la prosperidad Ofrecer capacitación especializada en adaptación al cambio climático	Explorar sistemas alternativos que ofrezcan adaptabilidad en cada uno de los riesgos identificados
		Incluir estudios de factibilidad económica en los procesos de planificación de la adaptación
		Dar prioridad a la conservación y la protección de las fuentes hídricas
		Preservar la resiliencia de los ecosistemas
		Evaluar los niveles de preparación para los riesgos de adaptación al cambio climático en la industria de los minerales
		Incorporar el cambio climático en los planes de estudio

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

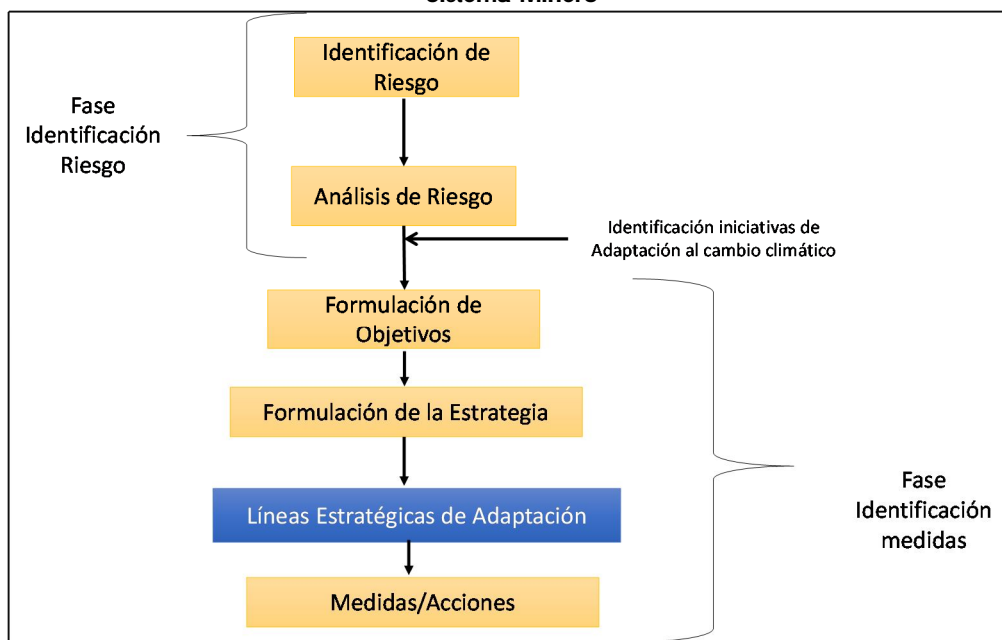
14.7 Esquema para el diseño de grandes líneas y medidas de adaptación de la minería al cambio climático en el marco de un plan sectorial de adaptación

El propósito de este capítulo es enfatizar que las medidas preliminares de adaptación al cambio y la variabilidad climática no están concebidas para ser aplicadas indistintamente en cualquier contexto, sino que se entienden como un marco genérico que debe detallarse en un doble sentido. Por un lado, en el sentido de que deben estar referidas a un sistema minero específico, pues parece inviable diseñar medidas genéricas de adaptación para la minería. Por el otro lado, deben estar entendidas como parte de una intervención pública estratégica como es un plan de adaptación. Entonces, se trata de enfatizar que se pretende definir una intervención estratégicamente orientada para lograr que un sistema minero incremente su resiliencia respecto de los posibles efectos del cambio y la variabilidad climática.

En este sentido se propone una metodología simple de diseño del plan de adaptación, que permita identificar esas medidas de una forma estratégica.

Se propone el siguiente esquema:

Figura 14-1 Modelo de definición de Plan de Adaptación al Cambio y la Variabilidad Climática de un Sistema Minero



Fuente: ACON – Miembro Grupo INERCO, 2015.

Como se muestra en la Figura 14-1, implícitamente se entiende que antes de identificar medidas hay una fase previa de identificación y análisis de vulnerabilidad y riesgo derivados del cambio y la variabilidad climática para el sistema minero en cuestión*.

Luego se entiende que la identificación de medidas requiere varios pasos; primero verificar las acciones que se están realizando en materia de política de cambio climático en el área de referencia del sistema minero. Posteriormente, es imprescindible que del análisis de los riesgos se derive un objeto para el plan de adaptación, que incluya la priorización de la gestión del conjunto de riesgos identificados, lo que supone definir objetivos en función del análisis de riesgo realizado. No se trata de identificar uno a uno medidas para cada riesgo, sino establecer un objetivo estratégicamente orientado para un sistema minero, que en general suele ser complejo. A continuación, se requiere definir una estrategia es decir, de la definición de una vía para el logro de los objetivos, para lograr que en un sistema minero compuesto de un conjunto disímil de operaciones, las medidas específicas de adaptación necesarias se implementen y, además se lleven a cabo otras medidas que no competen a esas unidades mineras.

Posteriormente, se deben identificar las líneas estratégicas del plan y las medidas específicas que son necesarias para alcanzar los objetivos planteados que se hayan identificado.

De acuerdo con IPCC (2007), la adaptación al cambio climático contempla intervenciones que modifican o moderan las respuestas de los sistemas naturales o humanos ante los estímulos climáticos. Con base en esta definición se ha enfatizado a lo largo del documento que el cambio climático representa riesgos físicos para el sector minero, en particular por posibles reducciones al acceso hídrico y por los daños sobre los equipos y la infraestructura.

* Para un detalle metodológico completo de esta fase, véase: Metodología para estimar la vulnerabilidad y los riesgos al cambio climático para los tipos de minería analizados.

15. CASO PILOTO: APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DE LA MINERÍA ANTE EL CAMBIO Y LA VULNERABILIDAD CLIMÁTICA

El propósito de este anexo es presentar sucintamente la aplicación de la metodología expuesta en los capítulos anteriores para identificar los factores de vulnerabilidad y riesgo de la minería al cambio y la variabilidad climática en un caso específico, el de la minería de carbón en el área de Ubaté.

Se omite en esta síntesis, por razones de brevedad, un capítulo inicial de caracterización de un conjunto de sistemas naturales del área, clima, hidrología y geotecnia, que permiten aportar información sobre la propensión del área a sufrir los subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática pertinentes para el análisis de vulnerabilidad de la minería. Así mismo, se han omitido la descripción de las condiciones socioeconómicas del área de estudio y la caracterización del comportamiento histórico del área de análisis frente a los eventos derivados de la variabilidad climática reciente que contribuyen, de la misma forma, a entender la propensión del área frente a estos eventos.

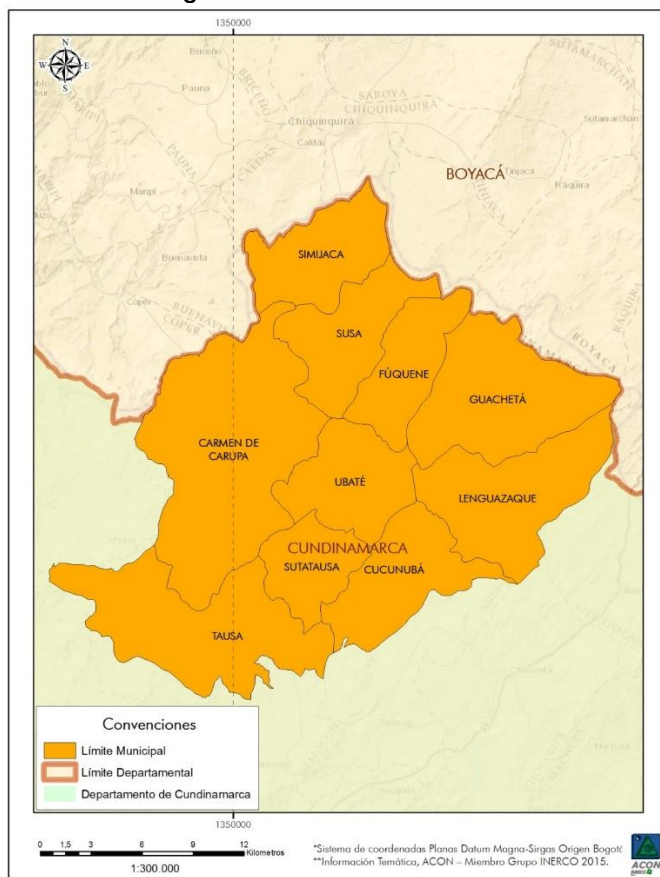
Por este motivo, los resultados de las visitas al área de análisis que se ha señalado constituyen un momento crucial de la metodología de análisis*.

15.1 El área de análisis

La Provincia de Ubaté se encuentra localizada al norte del departamento de Cundinamarca, limita por el norte y oriente con el departamento de Boyacá, por el sur con las provincias de Almeidas y Sabana Centro, por el occidente con la provincia de Rionegro. Tiene una extensión territorial de 1.408 km² y el 6,2 % del área total del departamento, lo que le permite ubicarse como la séptima provincia en cuanto a tamaño en Cundinamarca. Su jurisdicción comprende los municipios de Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque, Simijaca, Susa, Sutatausa, Tausa y Ubaté (Cabecera Provincial) (Ver Figura 15-1).

* Una versión completa del caso piloto se encuentra en el documento de factores de vulnerabilidad y riesgo relacionados con la variabilidad climática y el cambio climático del sector minero. Contrato: C-311484-003-2015 suscrito entre la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Ambiental Consultores y Cía. Ltda. (ACON), 2015.

Figura 15-1 Provincia de Ubaté



Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

15.2 Caracterización del sistema minero del área de Ubaté

La región conformada por los municipios de Zipaquirá, Cogua, Tausa, Nemocón, Sutatausa, Suesca, Cucunubá, Ubaté, Lenguazaque, Guachetá, Ráquira y Samacá, ha sido reconocida como el distrito minero Zipa – Samacá por la UPME & Muñoz (2007) y Contraloría de Cundinamarca & CAR (2010, pág. 203) debido a la explotación activa de carbón, materiales de construcción, sal y caliza.

La producción en la región tuvo sus inicios durante la colonia cuando Cucunubá abastecía de carbón a Bogotá. En el siglo XIX, la purificación de la sal de Zipaquirá inició el consumo de carbón térmico junto una naciente industria siderúrgica, que en el siglo siguiente sería jalonada por la construcción ferroviaria, que hacían uso del carbón metalúrgico de Samacá y posteriormente de Zipaquirá, Nemocón, Sesquillé y Tausa (UPME & Muñoz, 2007). En los años veinte comenzó la constitución de empresas carboneras en Lenguazaque y Guachetá donde los campesinos locales se capacitaron para más tarde abrir sus propias minas (Amortegui & Carvajal, 2006). Los siguientes consumidores importantes fueron Acerías Paz de Río, fundada en 1954 y

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)-0580-112-ACON-Miembro Grupo INERCO V.001-diciembre/2015

la primera unidad de Termopaipa que entró en operación en 1961. Actualmente, este distrito es el principal productor nacional de carbón metalúrgico y coque.

La producción carbonera se realiza por vía subterránea variando desde la extracción manual que caracteriza la minería artesanal hasta mediana minería con procesos tecnificados de transformación en la producción de coque para la industria siderúrgica internacional.

Aunque existen empresas con operaciones sólidas en el distrito, también hay un número importante de explotaciones de menor rango ejecutadas bajo condiciones de falta de información y poca capacidad técnica, con persistencia de prácticas ancestrales que en muchos casos representa riesgos a la salud de los mineros y al medio ambiente.

De las 599 explotaciones de carbón registradas legalmente en el departamento de Cundinamarca en 2010, el 85 % (509) están localizadas en los municipios de Lenguazaque, Cucunubá, Guachetá, Sutatausa y Tausa. El 88 % se trabajan manualmente y el 12 % restante es semimecanizada (SME, 2010).

Las características que más se resaltan en la literatura sobre la producción carbonera de esta región son: carbones de excelente calidad y abundancia con potencial económico debido a su fácil aprovechamiento, alta generación de empleo para personal con bajos niveles de escolaridad e ingresos, con procesos empresariales débiles en las áreas administrativas, económicas, ambientales, técnicas y laborales, baja productividad y competitividad, una desarticulación entre las autoridades mineras y ambientales competentes y bajo recaudo de regalías (SME, 2010).

La descripción de los diferentes componentes se realizó con información primaria y secundaria.

- **Componente administrativo**

El distrito cuenta con empresas consolidadas de larga tradición que cuentan con excelentes sistemas administrativos y fortaleza financiera. No obstante, hay una presencia numerosa de unidades productivas artesanales y de pequeña escala que muestran debilidades en los aspectos administrativos como planificación y procesos informados de toma de decisiones, distribución de tareas por competencias, objetivos y metas definidas, entre otros.

En general, las condiciones administrativas de las múltiples unidades extractivas informales artesanales y de pequeña escala están caracterizadas como carentes de seguridad de seguridad e higiene industrial, con muy bajo desarrollo tecnológico, abundantes conflictos sociales y legales, y productos de baja calidad (UPME & Muñoz, 2007, pág. 50).

Sin embargo, las empresas carboneras sólidas presentes cuentan con sistemas de planificación que las ha llevado a sistematizar sus operaciones, capacitar al personal y cumplir con las normas de seguridad e higiene minera.

- **Componente recurso humano**

Según la Secretaría de Minas de la Gobernación de Cundinamarca (SME, 2010) el nivel de escolaridad del grueso de la fuerza laboral minera no supera la primaria y su remuneración está en función de su producción a destajo por lo que no en todos los casos cuenta con seguridad social.

El control diario al contenido de gases en los frentes de trabajo no es una práctica frecuente e incluso en muchos casos no se cuenta con los equipos de detección. Los elementos de protección personal no son bien recibidos por los mineros quienes argumentan que resultan incómodos para desarrollar sus labores.

- **Componente de la cadena de suministros**

En el municipio de Ubaté se ha desarrollado un centro de venta de servicios primarios a la minería entre los que se encuentran estaciones de servicio, cooperativas mineras, ferreterías y distribuidores especializados, donde los mineros pueden conseguir la herramienta básica. Sin embargo, para servicios profesionales, técnicos y tecnológicos más especializados deben recurrir a Bogotá y Tunja.

- **Componente extractivo**

La minería carbonera del distrito es subterránea con condiciones similares en la mayoría de unidades productivas donde para el entibado se emplea madera de eucalipto, la ventilación es natural con un solo desfogue, las obras de drenaje son escasas y se realizan bombeos a superficie en algunos casos y la iluminación es con las lámparas de los cascos (UPME & Muñoz, 2007).

Las unidades productivas con mayor nivel de desarrollo utilizan fortificaciones metálicas, ventilación asistida y sistemas de transporte interno modernos (trenes y monorrieles).

- **Componente de almacenamiento temporal**

Los centros de acopio y los botaderos de estériles se realizan a la intemperie. En los primeros se presta el servicio de almacenamiento, clasificación según los mantos productores y cargue del material. En los botaderos se acumulan materiales estériles que no tienen ninguna utilidad.

- **Componente transporte y comercialización**

El transporte entre la mina y los centros de acopio se hace por vías terciarias en volquetas y camiones de baja capacidad debido a las limitaciones de estas carreteras haciendo que los tiempos de viaje sean altos y los fletes costosos en exceso.

La distribución se realiza mediante compradores locales que adquieren el carbón directamente de los mineros para venderlo en los sitios de consumo de la región como plantas coquizadoras y ladrilleras, compradores nacionales que reciben el material en centros de acopio para despacharlo a otras ciudades y los exportadores internacionales.

Los envíos hacia los centros de consumo o los puertos se hacen con tractomulas de 32 toneladas que cuentan con las vías Bogotá - Santa Marta o Bogotá – Buenaventura para llegar a puerto. Cualquier interrupción en estas vías exige largos y costosos desvíos que encarecen los fletes, como ha ocurrido en el pasado.

De este modo, en Samacá existe una cooperativa transportadora que ofrece el servicio de envíos a centros de consumo y puertos.

- **Componente de beneficio y transformación**

Beneficio: los carbones son clasificados según las características físico químicas de los mantos productores y, posteriormente, pueden someterse al lavado hidráulico o mecánico con el fin de reducir los contenidos de cenizas y azufre con lo que se agrega valor al reducir los impactos ambientales durante su combustión.

Transformación: el estimado de número de hornos de coquización en el distrito es de 3.473 distribuidos así: Samacá (1.672), Guachetá (467), Cucunubá (404), Tausa (374), Lenguazaque (205), Sutatausa (139), Nemocón (137), Zipaquirá (60) y Cogua (15). Debido a la falta de procesos estandarizados no es posible ofrecer calidades homogéneas de coque con lo cual su venta queda restringida al mercado local (UPME & Muñoz, 2007, pág. 58).

- **Entorno de las unidades de producción**

Debido a la diversidad geomorfológica, litológica y pedológica del distrito, las respuestas del entorno a los fenómenos asociados al cambio climático serán muy variadas. Como es de esperarse la propensión a los deslizamientos y la erosión será mayor en aquellas regiones donde confluyen pendientes de moderadamente escarpadas a muy escarpadas con litologías sedimentarias y suelos arenosos.

El Plan de ordenamiento de la cuenca de los ríos Ubaté y Suárez (CAR, 2006) hace una evaluación del entorno del distrito minero de la provincia de Ubaté donde resalta los conflictos

entre las diferentes actividades rurales y las comunidades, generados alrededor del déficit hídrico recurrente en los períodos secos de enero, febrero, agosto y septiembre.

El mismo documento describe la tendencia a la inundación en períodos invernales del fondo del valle debido a drenajes ineficientes que además reciben excesivos aportes de sedimentos provenientes de los flancos escarpados del valle conformados por materiales erodables y malas prácticas agropecuarias que originan procesos erosivos profundos y flujos de tierra y lodos.

De acuerdo con la CAR la deforestación y las explotaciones agropecuarias agresivas han eliminado la cobertura vegetal facilitando la erosión y el arrastre del suelo fértil hacia el piedemonte, los valles, los cauces y los cuerpos de agua (CAR, 2006, pág. 277).

Adicionalmente, la falta de cohesión de la comunidad para enfrentar procesos de desarrollo provincial, según reporte de la UPME & Muñoz (2007), que se constituye en una debilidad de la región para soportar los fenómenos asociados al cambio climático.

Además, se presenta un déficit hídrico de la región y, según reportes la contaminación de los afluentes del río Ubaté desde sus cabeceras con agroquímicos, sedimentos por malas prácticas en minería y vertimientos de residuos. Todo lo anterior ha contribuido en la reducción de caudales y su capacidad de regulación hídrica.

Asimismo, se considera que Ubaté está entre las cuatro provincias con mayor incremento de demanda hídrica proyectada por la CAR al 2020 en el departamento de Cundinamarca (Villegas, 2014, pág. 120). De 15 subcuencas de tercer orden analizadas en la cuenca del río Suárez, ocho presentan déficit hídrico y de estas, cuatro están en el distrito minero Zipa – Samacá (Ubaté, Ráquira, Cucunubá y Lenguazaque), mientras que el río Sutatusa estuvo cerca del balance cero, es decir, próximo a entrar en déficit (CAR, 2006, pág. 65).

15.3 Estimaciones de eventos derivados del cambio y la variabilidad climática en el área de análisis

Esta sección, tiene como objetivo la identificación de las principales amenazas para las actividades mineras, derivadas del cambio climático y la variabilidad climática. Se llevó a cabo la recolección de la información sobre los principales eventos naturales que han afectado la zona y que han sido inventariados durante la última ola invernal. En esta síntesis, se exponen solamente las conclusiones de las principales amenazas para la minería del carbón procedentes de posibles alteraciones ocasionadas por el aumento o disminución de la temperatura y precipitación.

- **Proyecciones de temperatura y precipitación para el área**

Con el propósito de estudiar estas proyecciones sobre la zona, se han escogido la segunda y tercera comunicación del IDEAM.

Durante 2010, el IDEAM publicó la segunda Comunicación sobre Cambio Climático para Colombia, empleando diferentes escenarios de emisiones y modelaciones que daban como resultado posibles cambios en temperatura y precipitación sobre el territorio nacional para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

Para la zona de la provincia de Ubaté, el IDEAM proyectaba condiciones relativamente neutras, con variaciones entre -10 % y 10 % con relación al escenario base de precipitación 1971-2000. Con respecto a la temperatura, se proyectaba un aumento entre 2 y 4°C a lo largo del siglo XXI. Para la temperatura mínima, durante el periodo 2011-2040, se estimaba la disminución en un grado para la zona, mientras que para las temperaturas máximas se estimaba el aumento de un grado. Para el periodo 2070-2100, se estimaba un incremento en la temperatura mínima de 2 a 3°C y de 2 a 5 °C en la temperatura máxima.

En línea con la motivación expuesta en el numeral anterior, el IDEAM continuó con la elaboración de escenarios para el Cambio Climático y, en 2015, publicó la tercera comunicación, que se diferenciaba de la segunda ya que estudiaba nuevos escenarios de emisiones, e implementaba nuevos modelos, además de realizar un importante esfuerzo para proyectar los escenarios por regiones e incluso por departamento.

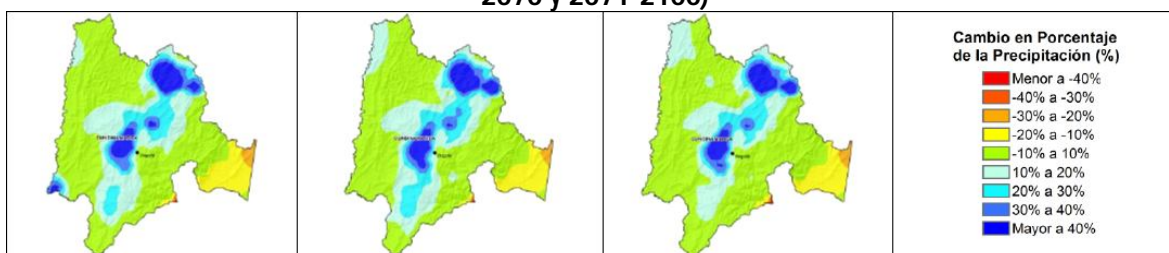
Dentro del análisis de la precipitación anual para la zona de estudio durante el periodo 2011-2040, se esperan aumentos importantes en la precipitación, en línea con los aumentos esperados en la región andina entre el 10 % – 40 %, mientras que se proyectan disminuciones del orden del 10 % – 40 % en el norte del país, la Amazonía y la Orinoquía y para el periodo 2041-2070 y 2071-2100, se espera un comportamiento similar. Los aumentos más significativos, se presentarían en la región andina entre junio y noviembre.

Con respecto a la temperatura máxima anual en Colombia, las proyecciones muestran alteraciones cercanas a 1°C para el periodo 2011-2040. Para el periodo 2041-2070 se estima un ligero aumento (entre 1,2°C-2,4°C) y finalmente, para el periodo 2071-2100 un aumento entre 2°C y 4°C. Con respecto a esta variable, se esperan los mayores cambios en los departamentos de Arauca, Caldas, Cesar, Quindío y Santander, mientras que los menores cambios para los departamentos de Cauca, Magdalena, Putumayo y San Andrés y Providencia. Para la temperatura mínima anual, se esperan ligeros incrementos cercanos al 0,7°C durante el periodo 2011-2040. Para el periodo 2041-2070, se esperan cambios entre 1°C y 2°C. Finalmente, para el periodo 2071-2100 se espera un cambio en esta variable entre 1°C y 3,5°C. Los mayores aumentos en este campo se espera se produzca en los departamentos de Arauca,

Casanare, Guaviare y Vichada, y los menores en los departamentos de Atlántico, Cesar, Córdoba, Magdalena y San Andrés y Providencia.

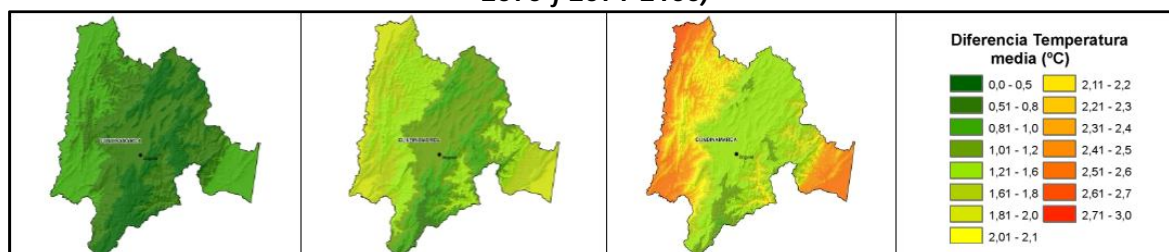
Las proyecciones esperadas para la provincia de Ubaté se pueden observar en la Figura 15-2 y Figura 15-3.

Figura 15-2 Cambio precipitación Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100)



Fuente: IDEAM, 2015

Figura 15-3 Cambio temperatura Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100)



Fuente: IDEAM, 2015

15.4 Estimación de subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática en el área de análisis

Como se expuso anteriormente, las comunicaciones y escenarios presentados por el IPCC e IDEAM hacen referencia principalmente a alteraciones en la precipitación y la temperatura a escala global o regional. Estas alteraciones desencadenan modificaciones en el ciclo hidrológico, que afectan diferencialmente a las regiones dependiendo de su localización geográfica principalmente.

Las modelaciones a nivel global tienen todavía dificultades para representar adecuadamente las implicaciones en el ciclo hidrológico tanto a nivel regional como a nivel de cuenca. Así se expresa en los informes de IPCC que indican que “Los modelos climáticos no simulan con precisión el ciclo del agua a una resolución suficiente como para atribuirles impactos hidrológicos de origen antropogénico o de cambio climático a escala de cuenca” (IPCC, 2014).

Para contextualizar esta definición al sector minería, tomando como base los fenómenos mencionados por el IPCC, los eventos amenazantes para la minería en Colombia se podrían contabilizar como: olas de calor o heladas, vendavales, aguaceros torrenciales, avenidas torrenciales (crecientes súbitas), inundaciones, movimientos en masa, sequías o déficit de lluvias, degradación de suelos y abatimiento de niveles freáticos. A continuación se describen dichos fenómenos:

- **Olas de Calor**

De acuerdo a las modelaciones e informes sobre CC y VC, se estima un incremento general de los días cálidos, tanto en temperatura como en frecuencia, clasificando dicho fenómeno como virtualmente cierto. Para Colombia estas condiciones de variación en la temperatura se cuentan con las olas de calor y heladas, entendidas como un periodo cálido extendido superior a las condiciones normales climáticas del área (Met Office, 2015); es pertinente aclarar que este tipo de fenómenos van acompañados de escenarios de alta humedad.

En la zona de la provincia de Ubaté, a pesar que las proyecciones tanto del IDEAM como las presentadas en el PRICC, manifiestan aumentos en las temperaturas media y máxima, los valores esperados no alcanzan a ser incapacitantes para la actividad de extracción.

- **Heladas**

Son un fenómeno climático que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies. Este fenómeno, muy común en las zonas de altitud mayor a los 2500 msnm, se presenta en la provincia de Ubaté debido a su ubicación geográfica, y se estima que se seguirá presentando especialmente en los meses de poca nubosidad, como diciembre y enero. Sin embargo, al igual que las olas de calor, este fenómeno no ocasiona impedimento para el desarrollo de la actividad minera.

- **Vendavales**

Cuando se presentan modificaciones en la temperatura y presión de los sistemas meteorológicos, es posible la presencia de vendavales, que se definen como ráfagas de viento que afectan un área en particular con velocidades que oscilan entre 50 y 80 kph en un intervalo corto de tiempo*.

* La generación de viento se inicia por diferencias de temperatura y/o presión en dos lugares geográficos. Existen varias clasificaciones de vientos, por ejemplo, la Escala Beaumont clasifica vientos desde 51 km/h como frescachón, que se caracteriza por movimiento de árboles, caminar en contra del viento es difícil, etc.

De acuerdo a las proyecciones del IPCC, este tipo de fenómeno se clasifica como probable es decir, entre 66 % - 100 % de ocurrencia.

Los vendavales en la región de Ubaté son poco frecuentes, durante el periodo 1999 – 2015 la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres sólo ha registrado 5 eventos como este, lo que representa el 4 % de los eventos registrados. Este tipo de fenómeno se podría ver intensificado con el Cambio Climático, sin embargo, la afectación sería mínima debido a la naturaleza de la anomalía.

- **Aguaceros torrenciales**

Los aguaceros torrenciales son lluvias de gran intensidad y corta duración. Su clasificación depende de la metodología empleada, pero en ocasiones se considera torrencial cuando la intensidad es de por lo menos 20 mm/hr. Los cambios estimados sobre este fenómeno indican que es un cambio mixto, es decir, en algunas regiones se verán incrementados y en otras reducidas, no obstante, la tendencia favorece al incremento.

Con los análisis de CC, se ha considerado que los eventos extremos van a ser más intensos y más frecuentes, por lo tanto, este tipo de aguaceros torrenciales se podrían presentar con mayor frecuencia y mayor intensidad a lo previamente estimado, pudiendo afectar las operaciones en la extracción minera.

También es importante indicar que este fenómeno podría generar no sólo inundaciones, sino también degradación del suelo, aumento de la carga sedimentológica y posterior reducción de la capacidad hidráulica de las corrientes.

- **Avenidas Torrenciales (crecientes súbitas)**

Las afectaciones debidas a crecientes súbitas dependen en gran medida a las condiciones naturales de la cuenca y la intensidad de la precipitación. Estas circunstancias afectarían las operaciones mineras que cuentan con bocatomas para el abastecimiento de las actividades que demanden agua. Dentro de las entrevistas efectuadas, el arreglo de bocatomas y/o conducciones son fenómenos que se presentan con poca frecuencia.

- **Inundaciones**

etc. Luego siguen los temporales, que ocasionan rompimiento de las ramas de los árboles (62 km/h), y temporales fuertes, hasta 86 km/h, que ocasionan desperfecto en partes salientes de edificios, levantamiento de tejas y derribo de chimeneas.

De acuerdo al IPCC, este tipo de fenómeno varía regionalmente o no presenta una tendencia clara. por lo se clasifica con baja confianza de ocurrencia, sin embargo, de acuerdo a los eventos presentados durante los últimos años en Colombia en temporadas del ENSO en su fase “La Niña” se ha observado aumento en la magnitud de este fenómeno al igual que en su frecuencia. Como se observó en el capítulo anterior, este fenómeno es de muy alta frecuencia en la región, representando cerca del 30 % de los eventos de desastre (33 eventos en el periodo 1999 – 2015). Con el aumento de precipitaciones que se proyecta de acuerdo a la tercera comunicación del IDEAM, se espera que este fenómeno se intensifique, de acuerdo a las entrevistas efectuadas en la zona. Este evento que daña principalmente el transporte, ya que las inundaciones afectan importantemente las vías de acceso a las minas por periodos de varios días.

- **Remoción en masa**

En línea con los numerales anteriores, los movimientos en masa se potencian gracias a procesos geológicos, químicos, mecánicos y especialmente hidrometeorológicos (como se mencionó anteriormente, se espera un aumento tanto en magnitud como en intensidad), todos estos fenómenos se combinan para actuar sobre las laderas y desestabilizarlas ocasionando caída de grandes cantidades de material.

El IPCC considera que este tipo de eventos se incrementaría en términos generales con alto grado de ocurrencia, debido a la influencia antropogénica y a eventos hidroclimatológicos desencadenados por efectos del Cambio Climático.

De acuerdo con La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, durante el periodo 1999-2015, se han presentado cuatro eventos de deslizamiento. Sin embargo, durante las entrevistas efectuadas en la zona de estudio este evento es más frecuente y afecta, especialmente, las vías de comunicación y perturba el tránsito normal de los vehículos.

- **Sequías o déficit de lluvias**

Se produce una sequía meteorológica cuando se presenta una escasez continua de las precipitaciones, por lo general este tipo de sequía va acompañado de temperaturas más altas que las medias, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de la evapotranspiración, menor cobertura de nubes y mayor insolación; todo ello, puede traducirse finalmente en la reducción de las tasas de infiltración, menor escorrentía, reducción en la percolación profunda y menor recarga de las aguas subterráneas.

Por otro lado, la sequía hidrológica, es aquella relacionada con periodos de caudales debajo de lo normal. A diferencia de la sequía agrícola, que tiene lugar poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses.

De acuerdo con los resultados presentados por el IDEAM, en el ENA 2014, el área de Ubaté presenta condiciones de escorrentía y rendimientos hídricos por debajo de la media nacional; esto también se observa en la modelación del índice de precipitación estándar (SPI), que evalúa la exposición de una región a sequías.

Por otra parte, al igual que los aguaceros torrenciales, el IPCC considera que las sequías presentarían un comportamiento mixto con tendencia al incremento de la intensidad y magnitud en la mayoría de las regiones. Este fenómeno se ha proyectado como probable (66 % a 100 % de probabilidad de ocurrencia).

Dentro de la actividad minera de carbón, existen procesos que demandan importantes cantidades de agua, los cuales se podrían ver afectados durante un evento de sequía hidrológica extendido.

- **Alteraciones (posible abatimiento) de niveles freáticos**

De acuerdo con el IPCC (IPCC, 2014, pág. 237), se indica que los cambios respecto al nivel del agua subterránea son difíciles de atribuir a variables diferentes a los cambios del uso del suelo, precipitación y abstracciones subterráneas (Stoll, S., Hendricks Franssen, H.J., Barthel, R., & Kinzelbach, W., 2011); sin embargo, es necesario tenerla en cuenta para las regiones proyectadas con alteraciones importantes de precipitación y con intervenciones poco controladas del subsuelo.

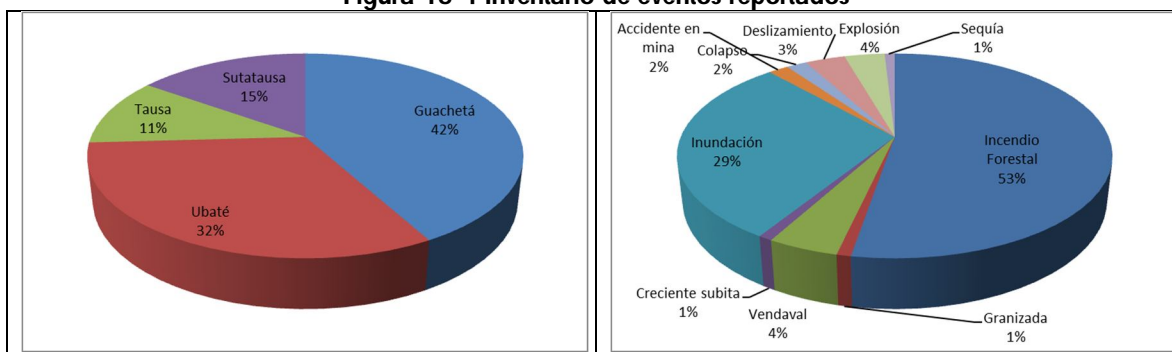
Como se plantea en la tercera comunicación del IDEAM sobre cambio climático, la zona de Ubaté presentaría condiciones de aumento de precipitación, lo cual incrementaría el flujo subterráneo, aumentando posiblemente las condiciones del bombeo requerido en los túneles.

Finalmente, es importante señalar que durante la visita de campo, las amenazas que se analizaron en la zona fueron confirmadas, sin embargo, los habitantes de la zona indicaron que adicionalmente se presentaron varios eventos de remoción en masa y bastantes incendios forestales durante la época de verano (es difícil determinar cuáles son naturales y cuales son provocados por los habitantes de la región).

En la

Figura 15-4, se presentan los eventos reportados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, durante el periodo 1999-2015, en los cuatro municipios visitados. En dicha figura, se observa que la mayoría de eventos de desastre se presentan en los municipios de Ubaté y Guachetá, y el evento de mayor frecuencia son los incendios forestales y las inundaciones.

Figura 15-4 Inventario de eventos reportados



Fuente: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 1999-2015.

15.4.1 Conclusiones sobre subeventos del cambio y variabilidad climática en el área de análisis

Como resultado de los análisis anteriores se llegó a las siguientes conclusiones respecto de la posible ocurrencia de subeventos amenazantes, asociados al incremento de las precipitaciones, para la minería en el área de estudio:

Inundaciones:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3.^a Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de las precipitaciones en el área de análisis (entre 20 y 40 %). Las referencias históricas disponibles señalan un incremento importante de la frecuencia de inundaciones en la última década en el área de análisis. Finalmente las condiciones naturales en términos de geología, edafología, sistema hidrológico y clima del área de análisis la hacen muy propensa a sufrir inundaciones. Todo ello sugiere que es muy posible que el área de análisis sufra fenómenos de inundación con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3.^a Comunicación Nacional.

Remociones en masa:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3.^a Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de las precipitaciones en el área de análisis (entre 20 y 40 %). Las referencias históricas disponibles señalan un incremento de la frecuencia de fenómenos de remoción en masa en el área de análisis. Finalmente las condiciones naturales en términos de geología y edafología del área de análisis la hacen muy propensa a sufrir este tipo de fenómenos. Todo ello sugiere que es muy posible que el área de análisis sufra fenómenos de remociones en masa con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3.^a Comunicación Nacional.

Cambios en el comportamiento volumétrico del suelo:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3.^a Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de las precipitaciones en el área de análisis (entre 20 y 40 %). Referencias históricas puntualmente documentadas señalan la ocurrencia de cambios en el comportamiento volumétrico del suelo en el área de análisis. No obstante, se adolece de información para poder caracterizar mejor el fenómeno. Finalmente las condiciones naturales en términos de geología y edafología del área de análisis la hacen muy propensa a sufrir cambios en el comportamiento volumétrico del suelo. Todo ello sugiere que es muy posible que el área de análisis sufra cambios en el

comportamiento volumétrico del suelo con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3.ª Comunicación Nacional.

Se logran las siguientes conclusiones respecto a la ocurrencia de posibles subeventos amenazantes asociados al incremento de la temperatura:

<p>Sequía: Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3.ª Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de la temperatura media en el área de análisis (de 0,8 a 1,5 grados). Referencias y series históricas, no obstante, no señalan un fenómeno recurrente de sequía para toda el área, siendo sin embargo un fenómeno puntual en determinadas zonas y durante ciertos meses del año. Finalmente las condiciones naturales en términos de climatología e hidrología del área de análisis no la hacen propensa a sufrir fenómenos de sequía sino de forma más bien puntual en términos espaciales y temporales. Todo ello sugiere que <u>es sólo posible que el área de análisis sufra fenómenos de sequía con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3.ª Comunicación Nacional.</u></p>
<p>Aumento del nivel del mar: Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de los varios Informes del IPCC señalan un importante incremento del nivel del mar a escala global y en particular en la región del Pacífico y Caribe colombiano. Los estudios llevados a cabo por INVEMAR han confirmado esos alcances, así como las Comunicaciones Nacionales, señalando un incremento de significativa importancia en ambas costas. Aunque este es un fenómeno que tendría lugar en áreas distantes de la de análisis, tiene un efecto indirecto sobre el sistema minero, razón por lo que se considera, en concreto <u>como un evento de muy posible ocurrencia.</u></p>

A continuación, se presentan las siguientes conclusiones respecto a la ocurrencia de posibles subeventos amenazantes asociados a la variabilidad climática:

<p>Inundaciones: Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3ª Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de las precipitaciones en el área de análisis (entre 20 y 40%). Las referencias históricas disponibles señalan un incremento importante de la frecuencia de inundaciones en la última década en el área de análisis. Finalmente las condiciones naturales en términos de geología, edafología, sistema hidrológico y clima del área de análisis la hacen muy propensa a sufrir inundaciones. Todo ello sugiere que <u>es muy posible que el área de análisis sufra fenómenos de inundación con una frecuencia e intensidad mayores a las que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3ª Comunicación Nacional.</u></p>
<p>Oleadas de Calor: Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3.ª Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de la temperatura máxima en el área de análisis. Referencias y series históricas señalan que ese incremento ya se está produciendo, lo que supone el incremento del número de días consecutivos cercanos a la máxima temperatura del área. Finalmente las condiciones naturales en términos de climatología y altitud del área de análisis no la hacen propensa a sufrir altas temperaturas, pero sí a que con mayor facilidad el incremento esperado se sitúe cerca de la máxima. Todo ello sugiere que <u>es medianamente plausible que el área de análisis sufra fenómenos de oleadas de calor con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3.ª Comunicación Nacional.</u></p>

Heladas:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3.^a Comunicación Nacional señalan un incremento probable significativo de la temperatura mínima en el área de análisis. Referencias y series históricas señalan que ese incremento ya se está produciendo lo que supone el incremento del número de días en que se presentan cambios de temperatura marcados en cortos lapsos de tiempo. Finalmente, las condiciones naturales en términos de climatología y altitud del área de análisis la hacen propensa a sufrir heladas. Todo ello sugiere que es muy plausible que el área de análisis sufra fenómenos de heladas con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3.^a Comunicación Nacional.

15.5 Estimación de amenazas directas

A partir de la calificación de los subeventos amenazantes según la matriz de caracterización de eventos, se verificaron las amenazas directas con ayuda de la matriz diseñada. Herramienta que permite analizar de forma independiente el grado de injerencia de cada subevento con cada uno de los componentes del sistema minero.

• **Subevento inundación**

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere la generación de las siguientes amenazas a los componentes del sistema minero:

- Filtraciones debidas a la permeabilidad de los mantos de carbón y las capas de arena que pueden exceder los sistemas de bombeo interno de la mina, lo que sugiere alta posibilidad de que se produzcan inundaciones en los túneles que afectarían las actividades extractivas, constituyendo una amenaza al componente extractivo.
- Procesos erosivos sobre las pilas de los patios de acopio lo que sugiere alta posibilidad de que se generen daños en los sistemas de drenaje y en las vías de acceso, constituyendo una amenaza para el componente de almacenamiento temporal.
- Afectaciones a las vías de acceso provocando muy posible situaciones de aislamiento de poblaciones en entornos rurales, así como daños a viviendas y enseres personales. Además, se podrían generar problemas en servicios públicos susceptibles como energía, acueducto, alcantarillado. En situaciones de crisis prolongadas esto podría conllevar a riesgos a la salud, todo lo que constituye una amenaza para el entorno del sistema minero.

• **Subevento remoción en masa y erosión**

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa sugiere la generación de las siguientes amenazas a los componentes del sistema minero:

- Una posibilidad media de ocurrencia de procesos de contaminación de fuentes de suministro de agua potable y daños en las estructuras de almacenamiento; igualmente, se puede generar daño físico por caída de rocas o deslizamientos, constituyendo una amenaza para el componente de recursos humanos.

- Una **baja posibilidad** de cierre de operaciones extractivas o de reducción en la producción por trabajos adicionales de fortificación y restauración de los túneles. Hecho que constituye una **amenaza para el componente extractivo**.
- Una **alta posibilidad** de que se produzcan procesos erosivos en las pilas de almacenamiento y colmatación de los sistemas de trampa de sedimentos en los drenajes, constituyendo una **amenaza para el componente de almacenamiento temporal**.
- Una **alta posibilidad** de bloqueo de carreteras afectando la comunicación y la economía de la región debido a la imposibilidad de transportar mercancías y productos agropecuarios. Adicionalmente, podrían haber daños en infraestructuras y bloqueo servicios públicos (privadas y públicas), hecho que representa una **amenaza para el entorno del sistema minero**.

- **Subvento comportamiento volumétrico del suelo**

La posibilidad de que se presenten efectos en el comportamiento volumétrico del suelo sugiere la generación de las siguientes amenazas a los componentes del sistema minero:

- Una **baja posibilidad** de efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática; esto es, una amenaza para los **componentes de recursos humanos y extractivo**.
- Una **alta posibilidad** de derrumbe y desprendimiento, constituyendo una amenaza para los **componentes de recursos humanos y extractivo**.

- **Subevento elevación del nivel del mar**

- La eventualidad de que se produzca una elevación del nivel del mar sugiere una **mediana posibilidad** de que se produzca un daño en la infraestructura física de cargue y descargue de carbón en puerto, lo que supone una amenaza **para el componente de transporte y comercialización**.

- **Subevento olas de calor**

- La eventualidad de que se produzcan olas de calor sugiere una **baja posibilidad** de afectación a la agricultura en la región, principalmente el cultivo de papa que no soporta temperaturas superiores a 25°C, lo que constituye una amenaza **para el entorno social, ambiental y de gobernabilidad**.

- **Subevento heladas**

- La probabilidad de que se produzcan heladas sugiere una **mediana posibilidad** de afectación a la agricultura en la región, principalmente para el cultivo de papa que no

soporta temperaturas inferiores a 10°C, lo que constituye una **amenaza para el entorno social, ambiental y de gobernabilidad**.

15.6 Estimación de Amenazas Indirectas

A partir de la identificación de las amenazas directas para cada uno de los componentes del sistema minero, se determinaron las amenazas indirectas utilizando la herramienta diseñada para ese fin. Las siguientes secciones exponen las primeras ante cada componente.

15.6.1 Componente administrativo y financiero

- La probabilidad de procesos de contaminación de fuentes de suministro hídrico asociados a remoción en masa y erosión sobre el componente recursos humanos sugiere **una posibilidad media** de afectación a este componente vía mayores costos en acceso a agua potable y fortificación de las estructuras mineras para prevenir accidentes
- La probabilidad de efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos sobre el componente recursos humanos sugiere **una baja posibilidad** de afectación a este componente vía mayores costos de personal.
- La eventualidad de afectación por ocurrencia de fenómenos de inundaciones sobre el componente extractivo indica **una alta posibilidad** de afectación al componente administrativo y financiero por la vía de reducción de la producción vendible e incremento de costes energéticos
- La probabilidad de efectos por procesos denudativos sobre el componente extractivo insinúa una **baja posibilidad** de afectación este componente vía mayores costos en reparaciones y fortificación.
- La probabilidad de afectación por debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática sobre el componente extractivo sugiere una **baja posibilidad** de afectación al componente administrativo y financiero
- La probabilidad de efectos por erosión en las pilas de acopio sobre componente almacenamiento temporal sugiere una **mediana posibilidad** de afectación al componente administrativo y financiero por la vía de incremento de costes
- La probabilidad de afectación asociada a elevación del nivel del mar sobre el componente transporte y comercialización sugiere **una mediana posibilidad** de afectación al componente administrativo y financiero dada la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles
La posibilidad de afectación por bloqueo de vías de transporte sobre el entorno del sistema minero sugiere **una alta posibilidad** de afectación al componente administrativo y financiero dado la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles.

15.6.2 Componente recursos humanos

- La probabilidad de afectación por ocurrencia de fenómenos de inundaciones sobre el componente extractivo sugiere una **alta posibilidad** de afectación al componente recursos humanos debido a cierres temporales o definitivos por inundación de los túneles.
- La probabilidad de efectos por procesos denudativos sobre el componente extractivo sugiere una **baja posibilidad** de afectación al componente recursos humanos debido a cierres temporales o definitivos por derrumbes en los túneles.
- La probabilidad de afectación por debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática sobre el componente extractivo sugiere una **baja posibilidad** de afectación al componente recursos humanos debido al incremento de la accidentalidad por desplome del techo del túnel.
- La elevación del nivel del mar asociada a la probabilidad de afectación sobre el componente transporte y comercialización sugiere una mediana posibilidad de afectación al componente Recursos humanos debido al cierre temporal de las operaciones por restricción en la comercialización del carbón.

15.6.3 Componente cadena de suministro

La probabilidad de afectación por bloqueo (inundaciones y procesos denudativos) vías de transporte sobre el entorno del sistema minero ofrece una **alta posibilidad** de afectación al componente cadena de suministro debido al cierre temporal de las vías de acceso y de interrupción de servicios públicos necesarios para el funcionamiento del sistema minero como es el recurso hídrico, fundamental en los procesos de lavado y coquización.

15.6.4 Componente beneficio y transformación

La probabilidad de afectación por ocurrencia de fenómenos de inundaciones sobre el componente extractivo sugiere una **alta posibilidad** de afectación al componente beneficio y transformación por carencia de material procesable.

15.6.5 Componente gestión ambiental

La probabilidad de efectos por erosión en las pilas de acopio sobre componente almacenamiento temporal se traduce en una **alta posibilidad** de afectación al componente de Gestión Ambiental debido a la contaminación de fuentes hídricas por falla de los sistemas de control de vertimientos.

15.6.6 Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad

- La afectación al componente de recursos humanos, causado por problemas de salud ocupacional, podría generar conflictos con las comunidades vecinas constituyendo una amenaza media para este componente.
- La afectación al componente de recursos humanos por problemas de seguridad industrial en las minas (accidentes), podría generar conflictos con las comunidades vecinas, lo que constituye una baja amenaza para este componente.

15.7 Valoración de las amenazas directas e indirectas

A continuación se recogen los resultados de la ponderación de las amenazas identificadas según su grado de posibilidad, ya señalado anteriormente en cada una de ellas, y su potencial de daño, de acuerdo a lo señalado en el capítulo metodológico. Esto da lugar a una cualificación de la gravedad de cada una de las amenazas identificadas. Se presentan situando en primer lugar las directas y luego las indirectas derivadas de las primeras:

15.7.1 1.ª Cadena de amenazas

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa sugiere una probabilidad media de procesos de contaminación de fuentes de suministro de agua potable por contaminación asociada a sedimentos o por daño en las estructuras de almacenamiento, o de daño físico en estructuras por caída de rocas o deslizamiento, lo que tiene un potencial medio de dañar al **componente de recursos humanos** constituyendo en síntesis una **amenaza relevante** para el sistema minero.

La posibilidad de este **efecto directo sobre el componente recursos humanos** sugiere una baja viabilidad de afección al **componente administrativo y financiero** vía mayores costos de personal, y con un potencial de daño bajo, por lo que constituye en síntesis una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

15.7.2 2.ª Cadena de amenazas

La posibilidad de ocurrencia de efectos en el comportamiento volumétrico del suelo implica con una baja opción que haya efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática y sugiere la posibilidad de derrumbe y desprendimiento, lo que tiene un potencial medio de dañar **al componente recurso humanos** constituyendo en síntesis una **amenaza secundaria** para al sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo **sobre el componente recursos humanos** sugiere una baja probabilidad de afección **al componente administrativo y financiero** vía mayores costos de personal y con un potencial de daño bajo, por lo que constituye en síntesis una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

15.7.3 3.^a Cadena de amenazas

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere que se puedan generar filtraciones debidas a la permeabilidad de los mantos de carbón y las capas de arena que pueden exceder los sistemas de bombeo interno de la mina lo que sugiere una alta posibilidad de que se produzcan inundaciones en los túneles que afectarían las actividades extractivas, con un potencial de daño alto al **componente extractivo** constituyendo en síntesis una **amenaza grave** para al sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente extractivo** sugiere una alta posibilidad de **afección al componente administrativo y financiero** por la vía de reducción de la producción vendible e incremento de costes energéticos con un alto potencial de daño constituyendo en síntesis en una **amenaza grave** para el sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente extractivo** sugiere una alta posibilidad de afección al componente **Recursos humanos** debido a cierres temporales o definitivos por inundación de los túneles con un potencial de daño alto, por lo que en síntesis supone una **amenaza grave** para el sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente extractivo** sugiere una alta viabilidad de **afección al componente beneficio y transformación** por carencia de material procesable, con un potencial medio de daño, por lo que se constituye en síntesis en una **amenaza grave** para el sistema minero.

15.7.4 4.^a Cadena de amenazas

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa y erosión sugieren una baja opción de que se pueden generar procesos que lleven al cierre de las operaciones extractivas; sin embargo, este evento tendría un alto potencial de daño al **componente extractivo**, por lo que se en síntesis constituye en una **amenaza relevante** para al sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente extractivo** sugiere una baja probabilidad de afección **al componente administrativo y financiero** y con un potencial bajo de daño, por lo que se constituye en síntesis en una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente extractivo** sugiere una baja posibilidad de afección **al componente Recursos humanos** debido a cierres temporales o definitivos por derrumbes en los túneles, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

15.7.5 5.^a Cadena de amenazas

La posibilidad de hayan efectos en el comportamiento volumétrico del suelo puede implicar una baja posibilidad de que haya efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática y sugiere una alta posibilidad de derrumbe y desprendimiento, con potencial de daño bajo al **componente extractivo**, por lo que se constituye en síntesis en una **amenaza secundaria** al sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente extractivo** sugiere una baja opción de afección al **componente administrativo y financiero** con un potencial de daño bajo, por lo que se constituye en síntesis en una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

La posibilidad de este efecto en el **componente extractivo** sugiere una baja posibilidad de afección al **componente Recursos humanos** debido al incremento de la accidentalidad por desplome del techo del túnel, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

15.7.6 6.^a Cadena de amenazas

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere que durante éstas los sistemas de acopio de carbón podrán verse afectados por erosión de las pilas de almacenamiento, lo que sugiere alta posibilidad de que se generen efectos en los sistemas de drenaje y en las vías de acceso, con un potencial de daño medio en el **componente de almacenamiento temporal** constituyendo en síntesis una **amenaza grave** al sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente almacenamiento temporal** sugiere una mediana probabilidad de afección al **componente administrativo y financiero** por la vía de incremento de costes, con un potencial bajo de daño, por lo que se constituye en síntesis en una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

15.7.7 7.^a Cadena de amenazas:

La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa y erosión sugieren una alta viabilidad de que se produzcan procesos erosivos en las pilas de almacenamiento colmatando los sistemas de trampa de sedimentos en los drenajes, con un potencial de daño bajo en el **componente de almacenamiento temporal** constituyendo en síntesis una **amenaza relevante** para el sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo en el **componente almacenamiento temporal** sugiere una mediana opción de afección al **componente administrativo y financiero** por la vía de incremento de costes con un potencial bajo de daño, por lo que se constituye en síntesis en una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

15.7.8 8.^a Cadena de amenazas:

La probabilidad de ocurrencia de modificaciones en el comportamiento volumétrico del suelo puede implicar una baja posibilidad de que haya efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática y sugiere una alta posibilidad de derrumbe y desprendimiento, con un potencial de daño bajo en el **componente de almacenamiento temporal** constituyendo en síntesis una **amenaza secundaria** para el sistema minero.

15.7.9 9.^a Cadena de amenazas:

La probabilidad de que se produzca una elevación del nivel del mar sugiere una mediana posibilidad de que se produzca un daño en la infraestructura física de cargue y descargue de carbón y un debilitamiento de las estructuras por incremento en la fuerza del oleaje, sin embargo, con un alto potencial de daño al **componente de transporte y comercialización** lo que supone en síntesis una **amenaza grave** para el sistema minero.

La probabilidad de este efecto directo en el **componente transporte y comercialización** sugiere una mediana posibilidad de afección al **componente administrativo y financiero** dada la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles con un alto potencial de daño al mismo, por lo que se constituye en una **amenaza grave** al sistema minero.

15.7.10 10° Cadena de amenazas

La posibilidad de inundaciones en la provincia sugiere que es muy posible se puedan generar importantes amenazas a los sistemas de transporte debido a la mala calidad de los caminos, provocando situaciones de aislamiento de poblaciones en entornos rurales, así como causar daños a viviendas y enseres personales. Además se podrían generar importantes problemas en servicios públicos susceptibles como el de energía, acueducto, alcantarillado. En situaciones de crisis prolongadas esto podría conllevar a riesgos a la salud, con un potencial de daño alto, todo lo que constituye una amenaza grave para el entorno del sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al componente administrativo y financiero dada la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles, con un alto potencial de daño al mismo, por lo que se constituye en una amenaza grave al sistema minero

La posibilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al componente Cadena de suministro debido al cierre temporal de las vías de acceso y de interrupción de servicios públicos necesarios para el funcionamiento del sistema minero como es el recurso hídrico, fundamental en los procesos de lavado y coquización, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una amenaza grave para el sistema minero.

15.7.11 11° Cadena de amenazas

La posibilidad de fenómenos de remoción en masa sugiere que con alta posibilidades se generen riesgos para los sistemas de transporte, debido al bloqueo de carreteras. Esto podría resultar en el aislamiento de comunidades y afectar la economía de la región debido a la imposibilidad de transportar mercancías y productos agropecuarios (de fuerte vocación en la región). Adicionalmente, podrían haber daños en infraestructuras y bloqueo servicios públicos (privadas y públicas), con un potencial de daño alto, todo lo que constituye una amenaza grave para el entorno del sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al **componente administrativo y financiero** dada la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles, con un alto potencial de daño al mismo, por lo que se constituye en una amenaza grave al sistema minero.

La posibilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al componente Cadena de suministro debido al cierre temporal de las vías de acceso y de interrupción de servicios públicos necesarios para el funcionamiento del sistema minero como es el recurso hídrico, fundamental en los procesos de lavado y coquización, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una amenaza grave para el sistema minero.

15.7.12 12° Cadena de amenazas

La posibilidad de que se produzcan olas de calor sugiere que es medianamente posible se generen afecciones a la agricultura en la región. Principalmente el cultivo de papa, que no soporta temperaturas inferiores a 10°C, con un potencial de daño bajo todo lo que constituye una amenaza secundaria para el entorno del sistema minero.

15.7.13 13° Cadena de amenazas

La posibilidad de que se produzcan heladas sugiere que es medianamente posible, al igual que las olas de calor, afecciones a la agricultura en la región. Principalmente el cultivo de papa, que no soporta temperaturas inferiores a 10°C, con un potencial de daño bajo todo lo que constituye una amenaza secundaria para el entorno del sistema minero.

15.8 Cálculo de riesgos

Para el cálculo de riesgos, una vez las amenazas han sido caracterizadas en función de su gravedad, se multiplican por el valor de vulnerabilidad estimado para el sistema minero, siguiendo la fórmula del análisis de riesgos. En este caso, suministra como resultado: ALTO.

A partir de estos datos, los cálculos de riesgos que resultan de multiplicar las amenazas por este factor de vulnerabilidad por componente son:

Componente Administrativo, Financiero

La probabilidad de este efecto directo sobre el componente recursos humanos sugiere una baja posibilidad de afección al componente administrativo y financiero vía mayores costos de personal, y con un potencial de daño bajo, por lo que constituye en síntesis una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo sobre el componente recursos humanos sugiere una baja posibilidad de afección al componente administrativo y financiero vía mayores costos de personal y con un potencial de daño bajo, por lo que constituye en síntesis una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo en el componente extractivo sugiere una alta posibilidad de afección al componente administrativo y financiero por la vía de reducción de la producción vendible e incremento de costos energéticos con un alto potencial de daño constituyendo en síntesis en una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de este efecto directo en el componente extractivo sugiere una baja posibilidad de afección al componente administrativo y financiero y con un potencial bajo de daño, por lo que se constituye en síntesis en una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo en el componente extractivo sugiere una baja posibilidad de afección al componente administrativo y financiero con un potencial de daño bajo, por lo que se constituye en síntesis en una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo en el componente almacenamiento temporal sugiere una mediana posibilidad de afección al componente administrativo y financiero por la vía de incremento de costes, con un potencial bajo de daño, por lo que se constituye en síntesis en una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo en el componente almacenamiento temporal sugiere una mediana posibilidad de afección al componente administrativo y financiero por la vía de incremento de costes con un potencial bajo de daño, por lo que se constituye en síntesis en una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo en el componente transporte y comercialización sugiere una mediana posibilidad de afección al componente administrativo y financiero dada la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles con un alto potencial de daño al mismo, por lo que se constituye en una amenaza grave al sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al componente administrativo y financiero dada la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles, con un alto potencial de daño al mismo, por lo que se constituye en una amenaza grave al sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al componente administrativo y financiero dada la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles, con un alto potencial de daño al mismo, por lo que se constituye en una amenaza grave al sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

Componente Recursos Humanos

La probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa sugiere una posibilidad media de procesos de contaminación de fuentes de suministro de agua potable por contaminación asociada a sedimentos o por daño en las estructuras de almacenamiento, o de daño físico en estructuras por caída de rocas o deslizamiento, lo que tiene un potencial medio de dañar al componente de recursos humanos constituyendo en síntesis una amenaza relevante para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de ocurrencia de efectos en el comportamiento volumétrico del suelo implica con una baja posibilidad que haya efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática y sugiere la posibilidad de derrumbe y desprendimiento, lo que tiene un potencial medio de dañar al componente recurso humanos constituyendo en síntesis una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo en el componente extractivo sugiere una alta posibilidad de afección al componente Recursos humanos debido a cierres temporales o definitivos por inundación de los túneles con un potencial de daño alto, por lo que en síntesis supone una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de este efecto directo en el componente extractivo sugiere una baja posibilidad de afección al componente Recursos humanos debido a cierres temporales o definitivos por derrumbes en los túneles, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto en el componente extractivo sugiere una baja posibilidad de afección al componente Recursos humanos debido al incremento de la accidentalidad por desplome del techo del túnel, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de este efecto directo en el componente transporte y comercialización sugiere una mediana posibilidad de afección al componente Recursos humanos debido al cierre temporal de las operaciones por restricción en la comercialización del carbón, con un potencial de daño alto, todo lo que sugiere que se trata de una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

Componente Cadena suministro

La probabilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al componente Cadena de suministro debido al cierre temporal de las vías de acceso y de interrupción de servicios públicos necesarios para el funcionamiento del sistema minero como es el recurso hídrico, fundamental en los procesos de lavado y coquización, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de este efecto directo al entorno del sistema minero sugiere una alta posibilidad de afección al componente Cadena de suministro debido al cierre temporal de las vías de acceso y de interrupción de servicios públicos necesarios para el funcionamiento del sistema minero como es el recurso hídrico, fundamental en los procesos de lavado y coquización, con un potencial de daño medio, por lo que en síntesis supone una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

Componente Extractivo

La probabilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere que se puedan generar filtraciones debidas a la permeabilidad de los mantos de carbón y las capas de arena que pueden exceder los sistemas de bombeo interno de la mina lo que sugiere una alta posibilidad de que se produzcan inundaciones en los túneles que afectarían las actividades extractivas, con un potencial de daño alto al componente extractivo constituyendo en síntesis una amenaza grave para al sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa y erosión sugieren una baja posibilidad de que se pueden generar procesos que lleven al cierre de las operaciones extractivas, sin embargo, este evento tendría un alto potencial de daño al componente extractivo, por lo que se en síntesis constituye en una amenaza relevante para al sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de hayan efectos en el comportamiento volumétrico del suelo puede implicar una baja posibilidad de que haya efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática y sugiere una alta posibilidad de derrumbe y desprendimiento, con potencial de daño bajo al componente extractivo, por lo que se constituye en síntesis en una constituyendo una

amenaza secundaria al sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

Componente Almacenamiento Temporal

La probabilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere que durante éstas los sistemas de acopio de carbón podrán verse afectados por erosión de las pilas de almacenamiento, lo que sugiere alta posibilidad de que se generen efectos en los sistemas de drenaje y en las vías de acceso, con un potencial de daño medio en el componente de almacenamiento temporal constituyendo en síntesis una amenaza grave al sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa y erosión sugieren una alta posibilidad de que se produzcan procesos erosivos en las pilas de almacenamiento colmatando los sistemas de trampa de sedimentos en los drenajes, con un potencial de daño bajo en el componente de almacenamiento temporal constituyendo en síntesis una amenaza relevante para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo medio

La probabilidad de ocurrencia de modificaciones en el comportamiento volumétrico del suelo puede implicar una baja posibilidad de que haya efectos de debilitación de los respaldos en los primeros tramos de los túneles debido a incrementos de la presión hidrostática y sugiere una alta posibilidad de derrumbe y desprendimiento, con un potencial de daño bajo en el componente de almacenamiento temporal constituyendo en síntesis una amenaza secundaria para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

Componente Beneficio y Transformación

La probabilidad de este efecto directo en el componente extractivo sugiere una alta posibilidad de afección al componente beneficio y transformación por carencia de material procesable, con un potencial medio de daño, por lo que se constituye en síntesis en una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

Componente Transporte y Comercialización

La posibilidad de que se produzca una elevación del nivel del mar sugiere una mediana posibilidad de que se produzca un daño en la infraestructura física de cargue y descargue de carbón y un debilitamiento de las estructuras por incremento en la fuerza del oleaje, sin embargo, con un alto potencial de daño al componente de transporte y comercialización lo que supone en síntesis una amenaza grave para el sistema minero. Lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero lo transforma en un Riesgo alto

Riesgo alto

Componente de Gestión Ambiental

La probabilidad de este efecto directo en el componente almacenamiento temporal sugiere una alta posibilidad de afección al componente de Gestión Ambiental debido a la contaminación de fuentes hídricas por falla de los sistemas de control de vertimientos, con un potencial medio de daños, todo lo que en síntesis supone una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de este efecto en el componente almacenamiento temporal sugiere una alta posibilidad de afección al componente de Gestión Ambiental debido a la contaminación de fuentes hídricas por falla de los sistemas de control de vertimientos, con un potencial medio de daños, todo lo que en síntesis supone una amenaza grave para el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad

La probabilidad de inundaciones en la provincia sugiere que es muy posible se puedan generar importantes amenazas a los sistemas de transporte debido a la mala calidad de los caminos, provocando situaciones de aislamiento de poblaciones en entornos rurales, así como causar daños a viviendas y enseres personales. Además se podrían generar importantes problemas en servicios públicos susceptibles como el de energía, acueducto, alcantarillado. En situaciones de crisis prolongadas esto podría conllevar a riesgos a la salud, con un potencial de daño alto, todo lo que constituye una amenaza grave para el entorno del sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de fenómenos de remoción en masa sugiere que con alta posibilidades se generen riesgos para los sistemas de transporte, debido al bloqueo de carreteras. Esto podría resultar en el aislamiento de comunidades y afectar la economía de la región debido a la imposibilidad de transportar mercancías y productos agropecuarios (de fuerte vocación en la región). Adicionalmente, podrían haber daños en infraestructuras y bloqueo servicios públicos (privadas y públicas), con un potencial de daño alto, todo lo que constituye una

amenaza grave para el entorno del sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.

Riesgo alto

La probabilidad de que se produzcan olas de calor sugiere que es medianamente posible se generen afecciones a la agricultura en la región. Principalmente el cultivo de papa, que no soporta temperaturas inferiores a 10°C, con un potencial de daño bajo todo lo que constituye una amenaza secundaria para el entorno del sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

La probabilidad de que se produzcan heladas sugiere que es medianamente posible, al igual que las olas de calor, afecciones a la agricultura en la región. Principalmente el cultivo de papa, que no soporta temperaturas inferiores a 10°C, con un potencial de daño bajo todo lo que constituye una amenaza secundaria para el entorno del sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

Afectaciones directas al componente de recursos humanos por temas de salud ocupacional, podría ocasionar conflictos con las comunidades vecinas a la actividad minera, con un potencial de daño bajo todo lo que constituye una amenaza secundaria para el entorno del sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

Afectaciones al componente de recursos humanos por temas de seguridad industrial, podría ocasionar conflictos con las comunidades vecinas a la actividad minera, con un potencial de daño bajo todo lo que constituye una amenaza secundaria para el entorno del sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Riesgo bajo

En la página siguiente se recoge una visión sinóptica de los riesgos identificados.

Implementación de Mapas de Ruta para la Adaptación del Sector Energético al Cambio Climático (incluyendo el uso de la Herramienta de Servicios Ecosistémicos) e identificación de Factores de Vulnerabilidad del Sector Minero y de Líneas Gruesas de Medidas de Adaptación

Tabla 15-1 Matriz de amenazas directas

AMENAZA DIRECTA/COMPONENTE	Componente Recursos Humanos		Componente Extractivo			Componente Almacenamiento Temporal			Componente Transporte y Comercialización		Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad		
Componente Administrativo, Financiero													
Componente Recursos Humanos													
Componente Cadena suministro													
Componente Extractivo													
Componente Almacenamiento Temporal													
Componente Beneficio y Transformación													
Componente Transporte y comercialización													
Componente de Gestión Ambiental													
Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad													

Fuente: ACON – Miembro Grupo INERCO, 2015.

- CCNC. Dirección de Estudios Económicos del Departamento Nacional de Planeación, Bogotá. Obtenido de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/314.pdf>.
- Angulo, G. (2015). *Minería en el Meta*. Bogotá.
- ANH. (2015). *Producción Fiscalizada de Petróleo por Campo Enero-Diciembre 2014*. Bogotá.
- ANLA. (2012). *Auto N° 2032 del 29 de 2012*. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, Bogotá. Obtenido de: http://www.anla.gov.co/documentos/8775_auto_2032_290612.pdf.
- ANM. (2013). *Informe de gestión 2013*. Agencia Nacional de Minería -ANM, Bogotá. Obtenido de: <http://www.anm.gov.co/sites/default/files/Documentos/informedegestion2013v3.pdf>.
- ANM. (2015). *Agencia nacional de minería - ANM*. Obtenido de <http://www.anm.gov.co/?q=search/node/producci%C3%B3n%20nacional>
- ANM. (13 de Mayo de 2015). *Estadísticas de accidentalidad, consolidado 2005 - 2015*. Recuperado el 21 de septiembre de 2015, de Agencia Nacional de Minería -ANM: <http://www.slideshare.net/AgenciaNaldeMineria/consolidado-emergencias-mineras-20052015>
- Arango, M., Zapata, J., & Gómez, R. (Noviembre de 2010). Estrategias en la cadena de suministro para el distrito minero de Amagá. *Boletín de Ciencias de la Tierra*(28), 27 - 38. Obtenido de: http://intranet.minas.medellin.unal.edu.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1730&Itemid=57.
- Arango, M., Zapata, J., & Gómez, R. (Noviembre de 2010). Estrategias en la cadena de suministro para el distrito minero de Amagá. *Boletín de Ciencias de la Tierra*(28), 27-38. Obtenido de http://intranet.minas.medellin.unal.edu.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1730&Itemid=57
- Arcila, L., Vargas, J., & Arias, G. (2009). *Perfil de la subregion del Bajo Cauca*. Informe preparado para la Dirección de Planeación Estratégica Integral de la Gobernación de Antioquia, Medellín Obtenido de: http://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/descargas/perfiles/perfilsubregional_bajo%20cauca.pdf.
- Arrieta, D. (30 de mayo de 2011). Producción de Drummond, la más afectada por inviernos: Ingeominas. *El Heraldó*. Obtenido de <http://www.elheraldo.co/economia/produccion-de-drummond-la-mas-afectada-por-inviernos-ingeominas-23421>
- Arrieta, D. (30 de mayo de 2011). Producción de Drummond, la más afectada por inviernos: Ingeominas. *El Heraldó*. Obtenido de: <http://www.elheraldo.co/economia/produccion-de-drummond-la-mas-afectada-por-inviernos-ingeominas-23421>.

- Aumann, H., Ruzmaikin, A., & Teixeira, J. (2008). Frequency of severe storms and global warming. *Geophysical research letters*. *Geophysical research letters*, 35(19), Obtenido de: http://www.precaution.org/lib/frequency_of_severe_storms.081003.pdf.
- Banco de la República. (2013). *Informe Coyuntura Económica Regional (ICER) 2013 Departamento de Antioquia*. Bogotá: DANE, Banco de la República.
- Banco de la República. (2013). *Informe de Coyuntura Económica Regional - Departamento de Cundinamarca*. Bogotá: Banco de la República.
- Banco de la República. (2014). *Informe Coyuntura Económica Regional (ICER) 2013 Departamento del Meta*. Bogotá: DANE, Banco de la República.
- BHPbilliton. (25 de julio de 2013). *Planta desalinizadora de agua para Minera Escondida*. Recuperado el 21 de agosto de 2015, de Community & Sustainability News: <http://www.bhpbilliton.com/society/communitynews/planta-desalinizadora-de-agua-para-minera-escondida>
- Burkett, V.R., Suárez, A.G., Bindi, M, Conde, C., Mukerji, R., Prather, M.J., . . . Yoje, G.W. (2014). Point of departure. En C. V. Field (Ed.), *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspect. Contribution of Working group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (págs. 169 - 194). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Bussi, G. , Rodríguez-Lloveras, X., Francés, F., Benito, G., Sánchez-Moya, Y., & Sopena, A. (2013). Sediment yield model implementation based on check dam infill stratigraphy in a semiarid Mediterranean catchment. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 17, 3339 - 3354.
- Camara de Comercio de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca. (2013). *Plan de Competitividad para la Provincia de Ubaté*. Bogotá: Camara de Comercio de Bogotá.
- Cámara de Comercio de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca. (2013). *Plan de Competitividad para la Provincia de Ubaté*. Bogotá: Camara de Comercio de Bogotá.
- Cámara de Comercio de Medellín. (2013). *Indicadores Económicos 2013*. Medellín: Cámara de Comercio de Medellín.
- Cámara de Comercio de Villavicencio. (2007). *Censo Económico de Acacias*. Villavicencio: Cámara de Comercio de Villavicencio.
- CAR. (2006). *Diagnóstico, prospectiva y formulacion de la cuenca hidrográfica de los ríos Ubaté y Suárez*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR, Bogotá, D.C. Obtenido de <http://www.aigos.com.co/ubate/FSCCommand/pomcadoc.pdf>
- CAR. (2006). *Diagnóstico, prospectiva y formulacion de la cuenca hidrográfica de los ríos Ubaté y Suárez*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR, Bogotá, D.C. Obtenido de: <http://www.aigos.com.co/ubate/FSCCommand/pomcadoc.pdf>.
- Carey, J. (16 de julio de 2006). *Business on a warmer planet: rising temperatures and later winter are already costing millions. How some companies are adapting to the new reality*.

- Recuperado el 16 de junio de 2015, de Bloomberg Business: <http://www.bloomberg.com/bw/stories/2006-07-16/business-on-a-warmer-planet>
- CEPAL. (2009). *La economía del cambio climático en Chile. Síntesis*. Naciones Unidas. Santiago, Chile: Obtenido en: http://www.cambioclimaticochile.cl/pdf/la_economia_del_cambio_climatico_chile_2009_CEPAL.pdf.
- CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas: Ola invernal en Colombia 2010 - 2011*. Misión BID - Cepal, Bogotá. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/47330/olainvernalcolombia2010-2011.pdf>
- CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas: Ola invernal en Colombia 2010 - 2011*. Bogotá: Misión BID - Cepal. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/47330/olainvernalcolombia2010-2011.pdf>.
- Codazzi, I. G. (Ed.). (2015). *Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial*. Obtenido de SIGOT: <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/>
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. (2004). *Convergencia internacional de medidas y normas de Capital*.
- Contraloría de Cundinamarca, & CAR. (2010). *Estado de los recursos naturales y del ambiente en Cundinamarca. Vigencia 2009*. Informe técnico, Contraloría de Cundinamarca y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR, Bogotá, D.C. Obtenido de: http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/attachments_new/informe.pdf.
- Contraloría Municipal de Villavicencio. (2010). *Informe del estado de los recursos naturales y el medio ambiente: 2009*. Informe técnico, Contraloría Municipal de Villavicencio, Villavicencio. Obtenido de: <http://contraloriavillavicencio.gov.co/dctos/ambiental.pdf>.
- Corantioquia. (2011). *Plan de acción para la atención y mitigación de la emergencia invernal en la jurisdicción de Corantioquia*. Informe técnico, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia -Corantioquia, Medellín. .
- Corficolombiana. (2 de marzo de 2012). Drummond espera que producción de carbón en Colombia aumente el 32%, a 29 millones de toneladas. *Noticias financieras - Corficolombiana*. Obtenido de <http://www.corficolombiana.com/webcorficolombiana/paginas/documento.as>
- Corficolombiana. (2 de marzo de 2012). Drummond espera que producción de carbón en Colombia aumente el 32%, a 29 millones de toneladas. *Noticias financieras - Corficolombiana*. Obtenido de: <http://www.corficolombiana.com/webcorficolombiana/paginas/documento.aspx?idd=1517&idr=1340&idn=243929>.
- CORMACARENA. (2010). *Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guayuriba*. Villavicencio.

- CORMACARENA –UAESPNN –CAEMA. (2013). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía*.
- DAFP, Departamento Administrativo de la Función Pública. (2009). *Guía de Administración del Riesgo*. Bogotá: DAFP.
- DANE. (2005). *Censo General 2005*. Bogotá: DANE.
- DANE. (2005a). *Proyecciones Demográficas 2005-2020*. Bogotá: DANE.
- De Castro, P., Salinett, S., & GLISC, G. L. (s.f.). *Guidelines for the production of scientific and technical reports: how to write and distribute grey literature*. (Version 1.0. ed.). Grey Literature Internat.
- Defeo, O., Castrejón, M., Ortega, L., Kuhn, A., Gutiérrez, N., & Castilla, J. (2003). Impacts of climate variability on Latin America smallscale fisheries. *Ecology and Society*, 18(4). Obtenido de <http://www.ecologyandsociety.org/vol18/iss4/art30/ES-2013-5971.pdf>
- DNP. (2011). *Visión del desarrollo territorial departamental. Visión Meta 2032: Territorio integrado e innovador*. Informe técnico, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, D.C. Obtenido de: <https://javierferro.files.wordpress.com/2013/05/documento-vision-meta-2032-ultimo-131211.pdf>.
- DNP, MADS, IDEAM, UNGRD. (2013). *Hoja de Ruta para la Elaboración de los Planes de Adaptación dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Bogotá: MADS.
- Easterling, W., Hurd, B., & Smith, J. (2004). *Coping with climate change: the role of adaptation in the United States*. Informe preparado para Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA., EE.UU. Obtenido de: <http://www.c2es.org/docUploads/Adaptation.pdf>.
- EFE. (9 de agosto de 2014). Cerrejón aportará \$ 2.000 millones más para dar agua a La Guajira. *El Tiempo*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/sequia-en-la-guajira/14360942>
- EFE. (9 de agosto de 2014). Cerrejón aportará \$ 2.000 millones más para dar agua a La Guajira. *El Tiempo*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/sequia-en-la-guajira/14360942>
- EFE. (9 de agosto de 2014). Cerrejón aportará \$ 2.000 millones más para dar agua a La Guajira. *El Tiempo*, págs. Obtenido de: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/sequia-en-la-guajira/14360942>.
- Escobar, M. (11 de octubre de 2004). Minas de bajo riesgo. *UN Periodico*, 182. Obtenido de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/minas-de-bajo-riesgo.html>
- Estrada, O., Poveda, G., & Galeano, A. (2009). Asociación entre la variabilidad macro-climática y la transmisión de malaria en Colombia y en las regiones antioqueñas del Bajo Cauca y Urabá. *XIV Congreso colombiano de parasitología y medicina tropical*, 29(1).
- Ford, J., Pearce, T., Prno, J., Duerden, F., Ford, L., Beaumier, M., & Smith, T. (2010). Perceptions of climate change risks in primary resource use industries: a survey of the Canadian mining sector. *Regional environment change*, 10, 65 - 81 Obtenido de:
- ACON-Miembro Grupo INERCO Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)-0580-112-V.001-diciembre/2015

- http://www.researchgate.net/publication/225368125_Perceptions_of_climate_change_risks_in_primary_resource_use_industries_a_survey_of_the_Canadian_mining_sector.
- Frusher, S., Hobday, A., Jennings, S., Crighton, C., D'Silva, D., Pecl, G., . . . van Putten, E. (2013). A short history of a marine hotspot - from anecdote to adaptation in south-east Australia. *Reviews in fish biology and fisheries*, Obtenido de: http://www.researchgate.net/publication/257342121_The_short_history_of_research_in_a_marine_climate_change_hotspot_from_anecdote_to_adaptation_in_south-east_Australia.
- Fundación Ideas para la Paz, USAID. (2014). *Dinámicas del conflicto armado en el Bajo Cauca antioqueño y su impacto humanitario*. Bogotá: Fundación Ideas para la Paz.
- Gardiner, D. (2012). *Physical risks from climate change: a guide for companies and investors on disclosure and management of climate impacts*. Ceres, Oxfam America & Calvert Investments. Obtenido de: http://www.calvert.com/NRC/literature/documents/sr_Physical-Risks-from-Climate-Change.pdf.
- Gobernación de Antioquia. (2009). *Perfil de la Subregión del Bajo Cauca*. Medellín: Gobernación de Antioquia. Obtenido de http://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/descargas/perfiles/perfilsubregional_bajo%20cauca.pdf
- Gobernación de Antioquia. (2012). *Inventario Agropecuario de Antioquia y las Subregiones*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Gobernación de Norte de Santander. (28 de abril de 2011). *Ola invernal afecta sector minero en Norte de Santander*. Obtenido de <http://www.nortedesantander.gov.co/noticia.php?id=4697>
- Gobernación de Norte de Santander. (28 de abril de 2011). *Ola invernal afecta sector minero en Norte de Santander*. Obtenido de <http://www.nortedesantander.gov.co/noticia.php?id=4697>
- González, N., Manrique, F., Ospina, J., Roa, M., & Hurtado, E. (2009). Utilidad de las técnicas de espirometría y oximetría en la predicción de alteración pulmonar en trabajadores de la minería del carbón en Paipa-Boyacá. *Revista de la Facultad de Medicina*, 57(2), 100 - 110.
- Hodgkinson, J., Hobday, A., & Pinkard, E. (2014). Climate adaptation in Australia's resource-extraction industries: ready or not? *Regional environmental Change*, 14(4), 1663-1678. Obtenido de http://www.researchgate.net/publication/271119421_Climate_adaptation_in_Australia_s_resource-extraction_industries_ready_or_not
- Huff, A., & Thomas, A. (2014). *Lake Superior Climate Change Impacts and Adaptation*. Preparado por Battelle para Lake Superior Lakewide Action and Management Plan – Superior Work Group. Thunder Bay (Canadá): EPA. Obtenido de
- ACON-Miembro Grupo INERCO Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)-0580-112-V.001-diciembre/2015

- <http://www.epa.gov/grtlakes/lakesuperior/lake-superior-climate-change-impacts-report-201401.pdf>
- Huff, A., & Thomas, A. (2014). *Lake Superior Climate Change Impacts and Adaptation*. Preparado por Battelle para Lake Superior Lakewide Action and Management Plan – Superior Work Group. Thunder Bay (Canadá): EPA. Obtenido de <http://www.epa.gov/grtlakes/lakesuperior/lake-superior-climate-change-impacts-report-201401.pdf>
- Hurtado, G. (2012). *Características y tendencias a lo largo de las olas de calor y de frío en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM. Bogotá, D.C.: Recuperado en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Oleadas+de+Calor+y+Frio.pdf/4330fcf3-a062-42bf-b7f3-c648227fb66d>.
- ICMM. (2009). *Policy on climate change: Implementing a global solution to managing a low emissions economy*. Londres, Reino Unido: Obtenido de: <http://www.eisourcebook.org/cms/Feb%202013/ICMM-Climate-Policy-26.11.pdf>.
- IDEAM. (2010). *Segunda comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá, D.C., Colombia.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2014). *Glosario*. (m. y.-l. Instituto de hidrología, Editor) Recuperado el 21 de agosto de 2015, de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#V>
- IDEAM. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura en Colombia*. Bogotá.
- IDEAM. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia (2011 - 2100). Herramientas científicas para la toma de decisiones: Enfoque nacional - departamental. Tercera comunicación nacional de cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia -IDEAM, Bogotá, D.C. Obtenido de <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/escenarios-de-cambio-climatico-2015.pdf>
- IDEAM. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia (2011 - 2100). Herramientas científicas para la toma de decisiones: Enfoque nacional - departamental. Tercera comunicación nacional de cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM, Bogotá, D.C. Obtenido de <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/escenarios-de-cambio-climatico-2015.pdf>
- IDEAM. (2015). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá.
- IDEAM. (2015A). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura en Colombia. Bogotá 2015*. Bogotá.

- IGAC, & Gobernación de Antioquia. (2007). *Antioquia, características geográficas*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC y Gobernación de Antioquia, Bogotá.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fourth assesment report of Intergovernmental Panel on Climate Change*. (R. y. Pachauri, Ed.) Génova, Suiza: IPCC.
- IPCC. (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC*. Obtenido de El cambio climático 2007: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Grupo de trabajo II. Anexo I - Glosario: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-annex-sp.pdf>
- IPCC. (2010). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press. Obtenido de http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme events and disasters to advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press. Obtenido de https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. (C. V. Field, Ed.) Ginebra, Suiza.: Organización meteorológica mundial. Obtenido de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf.
- IPCC. (2014). Chapter 3: Freshwater resources. En T. O. B.E., *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (págs. 229-269). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- IPCC. (2015). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working groups I, II and III to the Fifth assesment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (R. y. Pachauri, Ed.) Génova, Suiza: IPCC.
- IPCC. (2015). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working groups I, II and III to the Fifth assesment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (R. K. Pachauri, & L. A. Meyer, Edits.) Génova, Suiza: IPCC.
- Jiménez Cisneros, B.E., Oki, T., Arnell, N.W., Benito, G., Cogley, J.G., Döll, P., . . . Mwakalila, S.S. (2014). Freshwater resources. En IPCC, & C. B. Field (Ed.), *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working group II to the Fifth assessment report of the IPCC* (págs. 229 - 269). Cambridge, Reino Unido.

- Jiménez, B. E., Oki, T., Arnell, N. W., Benito, G., Cogley, J. G., Döll, P., . . . Mwakalila, S. S. (2014). Freshwater Resources. En C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, & T. E. Bilir (Edits.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and* (págs. 229-269). United Kingdom and New York: IPCC. Obtenido de https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap3_FINAL.pdf
- Jiménez, B., Oki, T., Arnell, N., Benito, G., Cogley, J., Döll, P., . . . Mwakalila, S. (2014). Freshwater resources. En IPCC, & C. B. Field (Ed.), *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working group II to the Fifth assessment report of the IPCC* (págs. 229 - 269). Cambridge, Reino Unido.
- Jones, R. A. (2014). *Foundations for decision making. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (UK), New York City (USA): Cambridge University Press.
- Kimball, J. (14 de enero de 2011). Meta de producción de carbón afectada por lluvias. *Dinero*. Obtenido de <http://www.dinero.com/imprimir/111011>
- Kimball, J. (14 de enero de 2011). Meta de producción de carbón afectada por lluvias. *Dinero*, Obtenida de: <http://www.dinero.com/imprimir/111011>.
- King, P., & Dunstall, S. (2010). *Comments on draft National Ports Strategy*. CSIRO Subcomision 10/390. Dickson: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Obtenido de http://infrastructureaustralia.gov.au/policy-publications/submissions/nps/files/10_009CSIRO.pdf
- King, P., & Dunstall, S. (2010). *Comments on draft National Ports Strategy*. CSIRO Subcomision 10/390. Dickson: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Obtenido de http://infrastructureaustralia.gov.au/policy-publications/submissions/nps/files/10_009CSIRO.pdf
- Kundzewicz, Z., Kanae, S., Seneviratne, S., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., . . . Sherstyukov, B. (2013). Flood risk and climate change – global and regional perspectives. *Hydrological science journal*, 59(1).
- LCCP, SDRTEE, & SECCP. (2006). *Adapting to climate change impacts: a good practice guide for sustainable communities*. Obtenido de: <http://www.hertsdirect.org/infobase/docs/pdfstore/ccadapting.pdf>.
- Leith, P., Ogier, E., Pecl, G., Pecl, G., Hoshino, E., Davidson, J., & Haward, M. (2013). *Towards a diagnostic approach to climate adaptation for fisheries. Tasmanian School of Business & Economics, Discussion paper series 2013-20*. Obtenido de http://eprints.utas.edu.au/17317/1/2013-20_Eriko_et al.pdf

- Loechel, B. (28 de abril de 2013). *Mining companies are underprepared for climate change*. Obtenido de The Conversation: <https://theconversation.com/mining-companies-are-underprepared-for-climate-change-13091>
- Loechel, B. (28 de abril de 2013). *Mining companies are underprepared for climate change*. Recuperado el 21 de junio de 2015, de The Conversation: <https://theconversation.com/mining-companies-are-underprepared-for-climate-change-13091>
- Loehman, R., & Anderson, G. (2009). *Understanding the science of climate change: talking points – impacts to the Atlantic coast*. Natural Resource Report NPS/NRPC/NRR-2009/095. Final report, U. S. Department of the Interior; Natural Resource Program Center, Fort Collins, Colorado (EE.UU). Obtenido en: <http://www.nps.gov/subjects/climatechange/upload/AtlanticCoastTP.pdf>.
- Lough, J., & Hobday, A. (2011). Observed climate change in Australian marine and freshwater environments. *Marine and freshwater Research*, 62(9), 984 - 999. Obtenido de: http://www.publish.csiro.au/?act=view_file&file_id=MF10272.pdf.
- MAC. (2010). *Mining sector performance report: 1998 - 2008*. Ottawa: Obtenido de: http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/mineralsmetals/pdf/mms-smm/pubr-pubr/pdf/EMMC_english.pdf.
- Macdonald-Smith, A. (10 de febrero de 2004). Coal exports get caught in shipping traffic jam. *Fairfax digital*. Obtenido de Obtenido de: <http://www.theage.com.au/articles/2004/02/09/1076175101718.html?from=storyrhs>
- Macdonald-Smith, A. (10 de febrero de 2004). Coal exports get caught in shipping traffic jam. *Fairfax digital*, pág. Obtenido de: <http://www.theage.com.au/articles/2004/02/09/1076175101718.html?from=storyrhs>
- Mason, L., & Giurco, D. (2013). *Climate change adaptation for Australian minerals industry professionals. Synthesis and integrative research. Final report*. National climate change adaptation research facility. Sydney, Australia: Obtenido de: https://www.nccarf.edu.au/sites/default/files/attached_files_publications/Mason_2013_A_guide_for_mining_and_minerals_industry.pdf.
- Mathews, C. (16 de enero de 2014). Coal exports heat up on icy weather in northern hemisphere. *Business day BDLive*, págs. Obtenido de: <http://www.bdlive.co.za/business/mining/2014/01/16/coal-exports-heat-up-on-icy-weather-in-northern-hemisphere>.
- MAVDT. (2005). *Guía Metodológica para Incorporar la Prevención y la Reducción de Riesgos en los Procesos de Ordenamiento Territorial*. Bogotá.
- MAVDT, CEDE. (2010). *Manual Técnico para la Evaluación Económica de Impactos Ambientales en Proyectos sujetos a Licenciamiento Ambiental*. Bogotá.

- MAVDT-CEDE. (s.f.). *Evaluación económica de impactos ambientales en proyectos sujetos a licenciamiento ambiental: Manal Técnico*. Bogotá.
- Mayorga, R., & Hurtado, G. (2006). *La sequía en Colombia: documento técnico de respaldo a la información en la página web del IDEAM. Nota técnica del IDEAM*. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales -IDEAM, Bogotá, D.C. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/NotaT%C3%A9cnicaSequia.pdf/d9ba4965-f7cd-4a2f-a875-2a38b1d6a941>.
- Mayorga, R., Hurtado, G., & Benavides, H. (2011). *Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística. Nota técnica del IDEAM. IDEAM-Meteo/001-2011*. Subdirección de Meteorología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, Bogotá. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Evidencias+de+Cambio+Clim%C3%A1tico+en+Colombia+con+base+en+informaci%C3%B3n+estad%C3%ADstica.pdf/1170efb4-65f7-4a12-8903-b3614351423f>.
- Met Office. (2015). Recuperado el 9 de octubre de 2015, de <http://www.metoffice.gov.uk/>
- Minambiente. (2004). *Guía metodológica 1: Información básica para formulación de planes de ordenamiento territorial. Series Planes de ordenamiento territorial*. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Bogotá, D.C.: Obtenido de: <http://www.minvivienda.gov.co/POTPresentacionesGuias/Gu%C3%ADa%20Formulaci%C3%B3n%20Planes%20Ordenamiento.pdf>.
- Minambiente. (2014 b). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas -Pomcas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Minambiente. Bogotá, D.C.: Obtenido de: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/Guia-Tecnica-para-la-formulacion-de-planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-POMCAS.pdf>.
- Minambiente. (2014 c). *Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -Minambiente. Obtenido de: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/GUIA_TECNICA_PORH.pdf.
- Ministerio de Trabajo. (2013). *Perfil Productivo Municipio El Bagre*. Bogotá: Ministerio de Trabajo.
- MME & MMA. (2002). *Guía minero ambiental N° 2: Explotación*. Ministerio de Minas y Energía - MME y Ministerio del Medio Ambiente -MMA, Bogotá. Obtenido de <http://www.simec.gov.co/Portals/0/Documental/1161.pdf>
- MME. (2003). *Glosario técnico minero*. Ministerio de Minas y Energía -MME, Bogotá. Obtenido de: <http://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>.

- MME. (2009). *Anuario Estadístico Minero Colombiano*. Ministerio de Minas y Energía -MME, Bogotá. Obtenido de: http://www.simco.gov.co/Portals/0/Otros/DOC_ESP.pdf.
- MME, & Incoplan S.A. (2011). *Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos*. Informe de consultoría preparado por Incoplan S.A. para el Ministerio de Minas y Energía -MME, Bogotá, D.C. Obtenido de: <http://www.simco.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=0CBLMjONx3M=&tabid=282>.
- MME, & MMA. (2002a). *Guía minero ambiental N° 2: Explotación*. Ministerio de Minas y Energía -MME y Ministerio del Medio Ambiente -MMA, Bogotá. Obtenido de: <http://www.simec.gov.co/Portals/0/Documental/1161.pdf>.
- MME, & MMA. (2002b). *Guía minero ambiental N° 3: Beneficio y transformación*. Bogotá. Obtenido de: <http://www.minminas.gov.co/documents/10180/416798/beneficio.pdf>. Ministerio de Minas y Energía -MME y Ministerio de Ambiente -MMA.
- MME, UPME, & U. de Córdoba. (2014). *Estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera del oro: Tomo 1*. Estudio realizado por la Universidad de Córdoba para el Ministerio de Minas y Energía -MME y la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, Bogotá. Obtenido de: http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/cadena_de_mercurio/Cadena_Mercurio_Tomo_1.pdf.
- Montes, C. (2013). *Actualización de la información sobre el consumo de agua en la minería del cobre al año 2012*. Ministerio de Minería, Comisión Chilena del Cobre -Cochilco, Dirección de Estudios. Santiago: Cochilco. Obtenido de: <http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/informes/agua/CONSUMO-DE-AGUA-EN-LA-MINERIA-DEL-COBRE-2012.pdf>.
- Moore, M., Hampton, S., Izmet'seva, L., Silow, E., Peshkova, E., & Pavlov, B. (mayo de 2009). Climate Change and the World's "Sacred Sea"—Lake Baikal, Siberia. (O. U. Press, Ed.) *Bioscience*, 59(5), 405 - 417. Obtenido de <http://bioscience.oxfordjournals.org/content/59/5/405.full.pdf>
- Moreno, N. (2011). *Modelo de un programa de seguridad e higiene para la minería subterránea de carbón en Colombia*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/603/1/moreno_cn.pdf.
- Moreno, N. (2011). *Modelo de un programa de seguridad e higiene para la minería subterránea de carbón en Colombia*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/603/1/moreno_cn.pdf
- MPS, INS, & OPS. (2007). *Gestión para la vigilancia entomológica y control de la transmisión de malaria. Plan Nacional de Salud Pública*. Ministerio de la Protección Social -MPS, Instituto Nacional de Salud -INS y Organización Panamericana de Salud -OPS, Bogotá.

- Mullan, M. e. (2013). "National Adaptation Planning: Lessons from OECD Countries", *OECD Environment Working Papers, No. 54*. OECD.
- Naidoo, K., & Handley, M.F. (mayo-junio de 2002). Basic principles for stable gullies in the gold and platinum mines of South Africa. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 102(4), 189 - 198. Obtenido de <http://www.saimm.co.za/Journal/v102n04p189.pdf>
- Newcrest. (2014). *Cadia Valley Operations Set Gold Standard*. Recuperado el 21 de agosto de 2015, de <http://www.cstwastewater.com/cadia-valley-operations-set-gold-standard/>
- NOAA. (4 de agosto de 2015). *Climate Challenge: What was the water level in Lake Mead at the end of July?* (N. O. -NOAA, Ed.) Recuperado el 21 de agosto de 2015, de Climate.gov: Science & information for a climate-smart nation: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCQQFjAAahUKEwjqlqleMy4vIAhVHJh4KHaU2CKA&url=https%3A%2F%2Fwww.climate.gov%2Fnews-features%2Ffeatured-images%2Fclimate-challenge-what-was-water-level-lake-mead-end-july&>
- NOAA. (4 de agosto de 2015). *Climate Challenge: What was the water level in Lake Mead at the end of July?* (N. O. -NOAA, Ed.) Recuperado el 21 de agosto de 2015, de Climate.gov: Science & information for a climate-smart nation: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCQQFjAAahUKEwjqlqleMy4vIAhVHJh4KHaU2CKA&url=https%3A%2F%2Fwww.climate.gov%2Fnews-features%2Ffeatured-images%2Fclimate-challenge-what-was-water-level-lake-mead-end-july&>
- Nyman, P., Sheridan, G.J., Smith, H.G., & Lane, P.N. (2011). Evidence of debris flow occurrence after wildfire in upland catchments of south-east Australia. *Geomorphology*, 125(3), 383 - 401.
- OMS, OMM, & PNUMA. (2003). *Cambio climático y salud humana, riesgos y respuestas: Resumen*. Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Obtenido de: <http://www.who.int/globalchange/publications/en/Spanishsummary.pdf>.
- OPTIM y ACON. (2013). *Estudio para Determinar la Vulnerabilidad y las Opciones de Adaptación del Sector Energético Colombiano frente al Cambio Climático Producto No. 3*. Bogotá: UPME.
- Oskin, B. (15 de mayo de 2014). Tropical storms shifting paths; impact of climate change debated. *CBSNews* - *Livescience.com*. Obtenido de <http://www.cbsnews.com/news/tropical-storms-shift-paths-toward-poles-impact-of-climate-change-debated/>
- Oskin, B. (15 de mayo de 2014). Tropical storms shifting paths; impact of climate change debated. *CBSNews* - *Livescience.com*, págs. Obtenido de:
- ACON-Miembro Grupo INERCO Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)-0580-112-V.001-diciembre/2015

- <http://www.cbsnews.com/news/tropical-storms-shift-paths-toward-poles-impact-of-climate-change-debated/>.
- Pearce, T., Ford, J., Prno, J., & Duerden, F. (2009). *Climate change and Canadian mining: opportunities for adaptation*. Informe preparado para The David Suzuki Foundation. Montreal, Canadá. Obtenido de http://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2009/Climate_Change_And_Canadian_Mining.pdf
- Pérez, C.M. (2013). Cambio en el modelo de gestión, como estrategia para disminuir riesgos operativos. La experiencia de la Universidad de La Habana. En M. d. Santander, *Proyecto Gefies: Mejores prácticas de la gestión financiera en las instituciones de educación superior*. Obtenido de: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-329159_archivo_pdf_GEFIES6_2ConferencistaInternacional.pdf.
- Pittman, J., Pearce, T., & Ford, J. (2013). Adaptation to climate change and potash mining in Saskatchewan: case study from the Qu'Appelle river watershed. Report submitted to Climate Change Impacts and Adaptation Division, Natural Resources Canada. Obtenido de http://www.arctic-north.com/wp-content/uploads/2012/09/saskatchewan_web.pdf
- PNUD, & Alfonso, M. (2013). *Elaboración del Diagnóstico de las Condiciones Técnicas Minero ambientales mediante*. Informe de consultoría elaborado por Mauricio Alfonso para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD y el Ministerio de Minas y Energía -MME, Bogotá. Obtenido de: http://www.asogravas.org/Portals/0/Archivos2013/Memorias2013/Foro_Explotaci%C3%B3n_Material_Petreo_Lecho_Rio/Resumen_Ejecutivo_PNUD.pdf.
- Porras, H. (2012). *Anuario Estadístico de Antioquia 2011*. Secretaria de Ambiente. Medellín: Gobernación de Antioquia. Obtenido de http://www.antioquia.gov.co/PDF2/boletin_2011_medio_ambiente.pdf
- Prodeco. (2011). *Informe de sostenibilidad 2010*. Glencore Corporate, Barranquilla. Obtenido de http://www.prodeco.com.co/files/8813/4808/7741/informe_espanol.pdf.
- Prodeco. (2011). *Informe de sostenibilidad 2010*. Glencore Corporate. Barranquilla: Obtenido de: http://www.prodeco.com.co/files/8813/4808/7741/informe_espanol.pdf.
- PWC, & CDP. (2011). *Materials sector report: covering global 500, S&P 500 and FTSE 350 respondent*. Obtenido de Carbon Discloser Project -CDP: <https://www.cdp.net/CDPResults/2011-G500-sector-report-materials.pdf>.
- PWC, & CDP. (2013). *Sector insights: what is driving climate change action in the world's largest companies? Global 500 Climate change report 2013*. Informe preparado para Carbon Disclosure Project. Recuperado el 18 de junio de 2015, de http://www.pwc.es/es_ES/es/publicaciones/gestion-empresarial/assets/global-500-climate-change-report-2013.pdf

- Reales, Y. (22 de enero de 2014). Sequía afecta producción del Cerrejón: entrevista al vicepresidente de Asuntos Públicos de El Cerrejón. *Las noticias*. Riohacha, La Guajira, Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=P964msoAdNE>.
- Rio-Tinto. (2012). *Rio Tinto's climate change position statement*. Obtenido de: http://www.riotinto.com/documents/ReportsPublications/corpPub_ClimatePosition.pdf.
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D., Imeson, A., Chunzhen, L., Menzel, A., . . . Tryjanowski, P. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. En M. O. Parry, & M. O. Parry (Ed.), *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (págs. 79 - 131). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Ruiz, J. (2010). *Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011 -2011)*. Nota técnica del IDEAM. Subdirección de meteorología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, Bogotá. Obtenido de: <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/nota-tecnica-sobre-generacion-de-ecc.pdf>.
- Russell, J., & Long, K. (2006). A failed Lake Eppalock: a dire indicator for parched Murray Darling Basin. *Journal the Environmental Engineer*, 7(4), 7 - 11. Obtenido de <http://www.thelongview.com.au/documents/FAILED-LAKE-EPPALOCK-INDICATOR-2006-Russell-and-Long-v1.pdf>
- Sánchez, J. (2004). *hidrologia.usal.es*. (D. d. Salamanca, Ed.) Obtenido de Apuntes sobre hidrología e hidrogeología: <http://hidrologia.usal.es/index.htm>
- SANEDI. (2013). *The South African coal roadmap*. South African National Energy Development Institute - SANEDI. Obtenido de <http://www.sanedi.org.za/archived/wp-content/uploads/2013/08/sacrm%20roadmap.pdf>
- SANEDI. (2013). *The South African coal roadmap*. South African National Energy Development Institute - SANEDI. Obtenido de: <http://www.sanedi.org.za/archived/wp-content/uploads/2013/08/sacrm%20roadmap.pdf>.
- Seneviratne, S.I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C.M., Kanae, S., Kossin, J., . . . Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment: an overview of the IPCC SREX report. En IPCC, & C. B. Field (Ed.), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of Working groups I and II to the Fifth assessment report of the IPCC* (págs. 109 - 230). Cambridge, Reino Unido.
- Sharma, B. (21 de julio de 2009). Pachauri defends India's climate stand. *Thaindian News*. Obtenido de http://www.thaindian.com/newsportal/eniornment/pachauri-defends-indias-climate-stand_100221052.html

- Sharma, V., van De Graaff, S., & Loechel, B. (2013). In situ adaptation to climatic change: mineral industry responses to extreme flooding events in Queensland. *Society & natural resources: An international journal*, 26(11), 1252-1267. Obtenido de <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/08941920.2013.797528>
- Sharma, V., van de Graaff, S., Loechel, B., & Franks, D. (2013 b). *Extractive resource development in a changing climate: learning the lessons from extreme weather events in Queensland, Australia, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast*. Final report.
- Sharma, V., van de Graaff, S., Loechel, B., & Franks, D. (2013). In situ adaptation to climatic change: mineral industry responses to extreme flooding events in Queensland. *Society & natural resources: An international journal*, 26(11), p. 1252 - 1267. Obtenido de: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/08941920.2013.797528>.
- Sharples, B. (6 de enero de 2011). Coal contract price may rise 33% on Australian floods. *Bloomberg Business*. Obtenido de <http://www.bloomberg.com/news/articles/2011-01-05/coking-coal-contract-price-may-rise-33-on-australian-floods>
- Sharples, B. (06 de enero de 2011). Coal contract price may rise 33% on Australian floods. *Bloomberg Business*, págs. Obtenido de: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2011-01-05/coking-coal-contract-price-may-rise-33-on-australian-floods>.
- Siga, ACon, & Tau. (2013). *Implementación del procedimiento de evaluación de riesgos de sostenibilidad de la evaluación ambiental y social estratégica del plan nacional de hidrocarburos 2020: Volumen III*. Informe para la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH por la Unión temporal Siga Ingeniería y Consultoría, Ambiental Consultores y Tau Consultora Ambiental, Bogotá, D.C.
- SME. (2010). *Plan de desarrollo minero para el departamento de Cundinamarca 2010 - 2019*. Secretaría de Minas y Energía; Gobernación de Cundinamarca, Bogotá. Obtenido de: http://www6.cundinamarca.gov.co/Cundinamarca/Archivos/FILE_ENTIDADES/FILE_ENTIDADES87378.pdf.
- Smith, M. (2013). *The Mining and Mineral Processing Sector –Climate Change Risks and Opportunities. An Educational Guide to Assist Climate Change Risk, Adaptation and Mitigation Opportunity Assessment. Skills for the Carbon Challenge Program. DIICCS RTE and ANU*. Obtenido de <http://sustainability.edu.au/material/teaching-materials-document/315/download/>
- Smith, M. (2013). *The Mining and Mineral Processing Sector –Climate Change Risks and Opportunities. An Educational Guide to Assist Climate Change Risk, Adaptation and Mitigation Opportunity Assessment. Skills for the Carbon Challenge Program. DIICCS RTE and ANU*. Obtenido de: <http://sustainability.edu.au/material/teaching-materials-document/315/download/>.

- Stafford, M., Horrocks, L., Harvey, A., & Hamilton, C. (2011). Rethinking adaptation for a 4 °C world. *Philosophical transactions of The Royal Society*, 369(1934), 196 - 216. Obtenido de <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/369/1934/196.full.pdf>
- Steffen, W. (2013). *The angry summer*. Department of Climate Change and Energy Efficiency: Climate Commission Secretariat.
- Stoll, S., Hendricks Franssen, H.J., Barthel, R., & Kinzelbach, W. (2011). What can we learn from long-term groundwater data to improve climate change impact studies? (E. G. Union, Ed.) *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(12), 3861 - 3875.
- Stoll, S., Hendricks, H., Franssen, J., Barthel, R., Kinzelbach, W., & Stoll, S. (2011). What can we learn from long-term groundwater data to improve climate change impact studies? (E. G. Union, Ed.) *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(12), 3861 - 3875.
- Sussman, F., & Freed, J. (2008). *Adapting to climate change: a business approach*. Informe preparado para el Centro Pew sobre cambio climático global. Arlington (VA). Obtenido de: <http://www.c2es.org/docUploads/Business-Adaptation.pdf>: Centro Pew sobre cambio climático.
- UPME & Geominas. (2006). *Formulación de una iniciativa de producción más limpia dirigida al sector de los metales preciosos en pequeña escala en Colombia*. Informe preparado por Geominas para la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME. Bogotá. Obtenido de <http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria/1865.pdf>
- UPME. (2005). *Distritos mineros: exportaciones e infraestructura de transporte*. Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, Bogotá. Obtenido de: http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos_Mineros.pdf.
- UPME. (2006). *Plan Nacional de Desarrollo Minero: Colombia País Minero, visión al año 2019*. Bogotá, Obtenido de: http://www.upme.gov.co/Docs/PNDM_2019_Final.pdf.
- UPME. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo Minero 2007 - 2010: Gestión pública para propiciar la actividad minera*. Bogotá, Obtenido de: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Nal_Des_Minero_2007_2010.pdf.
- UPME. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo Minero 2007 - 2010: Gestión pública para propiciar la actividad minera*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Nal_Des_Minero_2007_2010.pdf
- UPME. (2012). *Plan Nacional de Desarrollo Minero al 2014: Sector minero de cara a la sociedad*. Bogotá, Obtenido de: <http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/news/3088/files/pndm2014.pdf>.
- UPME. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo Minero 2010 - 2018; Versión preliminar para discusión*. Bogotá D. C., Obtenido de: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Minero/PNDM_2010_2018_dic_31.pdf.
- UPME. (2015). *Atlas Hidroenergético*. Bogotá: UPME.

- UPME. (2015). *Producción de oro por municipio anual*. Recuperado el 21 de 08 de 2015, de SIMCO:
http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=496&FechaInicial=01/01/2001&FechaFinal=31/12/2015
- UPME, & CRU Strategies. (2007). *Estudio de mercado de la Unión Europea*. Informe preparado por CRU Strategies para la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, Bogotá. Obtenido de:
http://www.simco.gov.co/Portals/0/UPME_Estudio_de_Mercado_Union_Europea_Version_Final.pdf.
- UPME, & Geominas. (2006). *Formulación de una iniciativa de producción más limpia dirigida al sector de los metales preciosos en pequeña escala en Colombia*. Bogotá. Informe preparado por Geominas para la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME. Obtenido de: <http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria/1865.pdf>.
- UPME, & Muñoz, J. (2007). *Diseño de agenda para el desarrollo productivo y competitivo del distrito minero Zipa - Samacá. Informe final*. Informe de consultoría preparado por Jineth M. Muñoz para la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Bogotá. Obtenido de: http://www.simco.gov.co/Simco/Portals/0/INFORME_FINAL_zipa_samaca.pdf.
- UPME, & Proyección IB2. (2014). *Evaluar la situación actual y los escenarios futuros del mercado de los materiales de construcción y arcillas de las ciudades de Cali, Cúcuta, Villavicencio, Cartagena, Sincelejo, Yopal, Valledupar y Montería: Villavicencio*. Informe de consultoría, Informe de consultoría elaborado por el Consorcio Proyección IB2 para la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, Bogotá, D.C.
- UPME; CRU Strategies. (2007). *Estudio de mercado de la Unión Europea*. Informe preparado por CRU Strategies para la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, Bogotá. Obtenido de:
http://www.simco.gov.co/Portals/0/UPME_Estudio_de_Mercado_Union_Europea_Version_Final.pdf
- Varela, N. (2009). *Formulación del plan local de emergencia y contingencia del municipio de Cucunubá*. Informe técnico, Alcaldía Municipal de Cucunubá, Cucunubá, Cundinamarca.
- Villegas, E. (2014). *Propuesta de lineamientos conceptuales y metodológicos para la planificación de la gestión sostenible de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, desde una perspectiva regional*. Tesis de maestría, Maestría en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C.
- Walling, D.E. (2009). *The impact of global change on erosion and sediment transport by rivers: current progres and future challenges*. International sediment initiative of UNESCO-IHP. Programa hidrológico internacional de la UNESCO.

Implementación de Mapas de Ruta para la Adaptación del Sector Energético al Cambio Climático (incluyendo el uso de la Herramienta de Servicios Ecosistémicos) e identificación de Factores de Vulnerabilidad del Sector Minero y de Líneas Gruesas de Medidas de Adaptación

Wikipedia. (Junio de 2015). *Riesgo, Definición*. Obtenido de Wikipedia, La Enciclopedia Libre: <https://es.wikipedia.org/wiki/Riesgo>

Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., & Musiak, K. (13 de Sept. de 2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological processes*, 17(14), 2913 - 2928.

Zhang, G., Xie, H., Duan, S., Tian, M., & Yi, D. (enero de 2011). Water level variation of lake Qinghai from satellite and in situ measurements under climate change. *Journal of applied remote sensing*, 5(1). Obtenido de <http://spie.org/Publications/Journal/10.1117/1.3601363>