

**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**

**Metodología para estimar la vulnerabilidad y los riesgos al cambio climático para los tipos de
minería analizados**



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**

**Metodología para estimar la vulnerabilidad y los riesgos al cambio climático para los tipos de
minería analizados**

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. 	Unidad de Planeación Minero – Energética - UPME	Rodrigo Jiliberto	
	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	

En la preparación de esta Metodología, Ambiental Consultores & Cía. Ltda. - Miembro Grupo INERCO y la UPME, utilizará la información provista por consultores especializados, autoridades nacionales y regionales; así como de otras fuentes no gubernamentales. La UPME 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 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
PARTE I: ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA LA DEFINICIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD Y LOS RIESGOS AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA MINERÍA	2
1. ANTECEDENTES.....	2
2. EL OBJETIVO DEL ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD	7
3. EL SISTEMA DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO.....	8
4. TIPOLOGÍA DE RIESGO: OPERATIVOS Y ESTRUCTURALES.....	9
5. EL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA COMO ANÁLISIS DE RIESGOS ESTRUCTURALES	13
6. LA CADENA CAUSAL DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	16
7. EL PLAN SECTORIAL DE ADAPTACIÓN VERSUS EL PLAN NACIONAL Y LOS PLANES TERRITORIALES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	27
PARTE II: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS ESTRUCTURALES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA MINERÍA.....	28
8. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	29
9. LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA MINERO TIPO	30
9.1 Componente administrativo y financiero	31
9.2 Componente recursos humanos	31
9.3 Componente de la cadena de suministros.....	31
9.4 Componentes extractivos	31
9.5 Componente de almacenamiento temporal	35
9.6 Componente de transporte y comercialización	35
9.7 Componente de beneficio y transformación	36
9.8 Componente de gestión ambiental.....	37
9.9 Componente de entorno social, ambiental y de gobernabilidad.....	38
10. HORIZONTES TEMPORALES.....	39
11. EVENTOS Y SUBEVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA..	40

11.1	Eventos asociados al cambio y la variabilidad climática.....	41
11.2	Proyecciones de cambio climático y variabilidad climática	42
11.2.1	Proyecciones globales.....	42
11.2.2	Proyecciones a escala nacional	44
11.3	Subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática.....	45
12.	SUBEVENTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA RELEVANTES PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO DE LA MINERÍA EN COLOMBIA.....	48
12.1	Olas de Calor.....	48
12.2	Heladas.....	49
12.3	Vendavales	49
12.4	Inundaciones	49
12.5	Remoción en Masa y erosión	50
12.6	Sequías o déficit de lluvias	50
12.7	Abatimiento de niveles freáticos	51
12.8	Elevación en el nivel medio del mar	51
12.9	Efectos en el Comportamiento Volumétrico del Suelo	51
13.	EFFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMATICA SOBRE LA MINERÍA.....	53
13.1	Incremento de precipitaciones.....	54
13.1.1	Inundaciones.....	54
13.1.2	Remoción en masa y erosión.....	55
13.1.3	Efectos del comportamiento volumétrico del suelo	57
13.2	Disminución de las precipitaciones.....	57
13.3	Aumento de temperatura	58
14.	TIPOLOGÍA DE IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INDUSTRIA MINERA	60
14.1	Incremento en la accidentalidad y deterioro de la salud y la higiene laboral	60
14.2	Incremento de emisiones contaminantes (agua, atmósfera, suelo)	61
14.3	Rotura cadena suministro insumos materiales y energéticos	61
14.4	Daños a infraestructuras	61
14.5	Daño maquinarias.....	62
14.6	Bloqueo de las actividades productivas, transporte y comercialización.....	62
14.7	Afectación servicios públicos.....	63

14.8	Afectación a planificación productiva	63
14.9	Afectación a gobernabilidad	63
14.10	Efectos sociales	64
14.11	Efectos financieros.....	64
14.12	Efectos inducidos por efectos del cambio y la variabilidad climática en el exterior	64
15.	SÍNTESIS DE LOS EVENTOS AMENAZANTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO A LA MINERÍA EN COLOMBIA	66
16.	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE EVENTOS Y SUBEVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL ÁREA DE ANÁLISIS.....	67
17.	LA CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO A SUBEVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	71
18.	LA REVISIÓN DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL TERRITORIO ANTE SUBEVENTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	80
19.	IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS AL SISTEMA MINERO	82
19.1	Identificación de las amenazas directas e indirectas.....	82
19.2	Identificación de las amenazas de entorno.....	83
19.2.1	Identificación y caracterización de las amenazas de entorno.....	86
20.	VISITA DE CAMPO AL ÁREA DE ANÁLISIS	89
21.	VALORACIÓN DE LAS AMENAZAS IDENTIFICADAS.....	91
22.	ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA MINERO ...	93
23.	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA MINERO	94
23.1	Sensibilidad del sistema minero no de los componentes.....	94
23.2	Sensibilidad del sistema minero.....	95
23.3	Estimación de la capacidad de adaptación del sistema minero	99
23.4	Índice de vulnerabilidad.....	102
24.	CALCULO DEL RIESGO	103
25.	EL ANÁLISIS (VALORACIÓN) DE RIESGO.....	104
26.	SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA.....	112
27.	MATRICES DE APOYO A LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA PARA LA MINERÍA EN COLOMBIA	
	117	
27.1	Descripción de la estructura del libro de Excel.....	117

27.1.1	Matriz caracterización de eventos y territorio.....	118
27.1.2	Matriz de identificación de amenazas directas	118
27.1.3	Matriz de análisis de amenazas indirectas	120
27.1.4	Matriz de la valoración de la gravedad del daño	122
27.1.5	Matriz de riesgos	122
27.1.6	Matriz análisis de riesgos.....	123
28.	EL ÁREA DE ANÁLISIS	126
29.	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA MINERO DEL ÁREA DE UBATÉ	127
29.1	Componente administrativo	128
29.2	Componente recurso humano.....	129
29.3	Componente de la cadena de suministros.....	129
29.4	Componente extractivo	130
29.5	Componente de almacenamiento temporal	130
29.6	Componente transporte y comercialización.....	130
29.7	Componente de beneficio y transformación	131
29.8	Entorno de las unidades de producción	131
30.	ESTIMACIONES DE EVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMATICA EN EL AREA DE ANÁLISIS	133
30.1	Proyecciones de temperatura y precipitación para el área	133
30.1.1	Segunda comunicación.....	133
30.1.2	Tercera comunicación.....	135
30.1.3	Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá – Cundinamarca (PRICC) 136	
31.	ESTIMACIÓN DE SUBEVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL ÁREA DE ANÁLISIS.....	139
31.1	Olas de Calor.....	140
31.2	Heladas.....	140
31.3	Vendavales	141
31.4	Aguaceros torrenciales	141
31.5	Avenidas Torrenciales (crecientes súbitas).....	142
31.6	Inundaciones	142

31.7	Remoción en Masa.....	143
31.8	Sequías o déficit de lluvias	145
31.9	Alteraciones (posible abatimiento) de niveles freáticos	145
32.	CONCLUSIONES SOBRE SUBEVENTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL AREA DE ANALISIS	147
33.	ESTIMACIÓN DE AMENAZAS DIRECTAS	149
33.1	Subevento inundación	149
33.2	Subevento remoción en masa y erosión	149
33.3	Subevento comportamiento volumétrico del suelo	150
33.4	Subevento elevación del nivel del mar	150
33.5	Subevento olas de calor.....	150
33.6	Subevento heladas	150
33.7	Matriz de Amenazas Indirectas	151
33.8	Componente administrativo y financiero	151
33.9	Componente recursos humanos	152
33.10	Componente cadena de suministro	152
33.11	Componente beneficio y transformación	152
33.12	Componente gestión ambiental.....	152
33.13	Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad.....	153
34.	VALORACIÓN DE LAS AMENAZAS DIRECTAS E INDIRECTAS	154
35.	CALCULO DE RIESGOS.....	159
36.	ANÁLISIS DE RIESGO	168
	BIBLIOGRAFÍA.....	176

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 12-1 Resumen Amenazas esperadas.....	52
Tabla 15-1 Resumen Eventos amenazantes relevantes para el análisis de la vulnerabilidad del sector minero al cambio y la variabilidad climática	66
Tabla 17-1 Categorías de SPI.....	78
Tabla 21-1 Escala para definir el potencial de daño de la amenaza	91
Tabla 21-2 Escala para definir la gravedad de la amenaza	92
Tabla 23-1 Criterios para la determinación de la sensibilidad del sistema minero.....	96
Tabla 23-2 Cálculo de sensibilidad del sistema minero según tipología minera	98
Tabla 23-3 Criterios para caracterizar la capacidad de adaptación del sistema minero	99
Tabla 23-4 Cálculo de la capacidad de adaptación del sistema minero según tipología minera	101
Tabla 23-5 Escala para determinar índice de vulnerabilidad	102
Tabla 24-1 Índice de riesgo	103
Tabla 25-1 Número de riesgos según tipo y componente del sistema minero	105
Tabla 25-2 Número de riesgos según tipo y evento	106
Tabla 25-3 intensidad de relaciones de funcionalidad entre componente del sistema minero	107
Tabla 25-4 Ranking de influencia de los componentes del sistema minero	108
Tabla 25-5 Ranking de dependencia de los componentes del sistema minero	108
Tabla 25-6 Grado de centralidad de los componentes del sistema minero.....	109
Tabla 25-7 Matriz de valoración de riesgos.....	110
Tabla 25-8 Ejemplo de evaluación de riesgos a partir de centralidad sistémica de componentes	111
Tabla 27-1 Matriz de valoración de riesgos.....	123
Tabla 35-1 Índice de sensibilidad de cada tipología minera del sistema minero analizado...	159
Tabla 35-2 Índice de capacidad de adaptación de cada tipología minera del sistema minero analizado	159
Tabla 35-3 Matriz de amenazas directas.....	167
Tabla 36-1 Matriz de gestión de riesgos.....	168

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 6-1 Cadena causal de efectos del cambio climático para los análisis de riesgo	18
Figura 6-2 Cadena causal efectos del cambio climático y análisis de riesgo.....	19
Figura 6-3 Visión sinóptica del estado general del conocimiento y herramientas de conocimiento de efectos del cambio climático a lo largo de la cadena causal para el análisis de riesgos	21
Figura 11-1 Proyección de la frecuencia de las inundaciones	47
Figura 17-1 Zonas susceptibles de Inundación	73
Figura 17-2 Amenaza por remoción en masa.....	75
Figura 17-3 Amenaza por erosión	77
Figura 17-4 Condiciones de sequía	79
Figura 25-1 Modelo de gestión de riesgos	104
Figura 25-2 Modelo gestión riesgo.....	105
Figura 27-1 Calificación del suceso amenazante.....	118
Figura 27-2 Matriz de identificación de amenazas directas.....	119
Figura 27-3 Ejemplo estructura matriz amenazas indirectas.....	121
Figura 27-4 Índice de vulnerabilidad sistema Minero	122
Figura 27-5 Ejemplo hoja de listado de riesgos por componente.....	123
Figura 28-1 Provincia de Ubaté.....	126
Figura 29-1 Área minera provincia de Ubaté	127
Figura 30-1 Cambio en el porcentaje de precipitación y temperatura 2011-2040 Vs 1971-2000	134
Figura 30-2 Cambio en el porcentaje de precipitación y temperatura 2071-2100 Vs 1971-2000	134
Figura 30-3 Cambio Precipitación Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100).....	136
Figura 30-4 Cambio Temperatura Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100).....	136
Figura 30-5 Cambios en la precipitación	137
Figura 30-6 Cambios en la temperatura	137

Figura 30-7 Mapas susceptibilidad a Inundaciones, Remoción en masa e Incendios Forestales	138
Figura 31-1 Susceptibilidad a fenómenos de inundación en el área de estudio provincia de Ubaté	143
Figura 31-2 Susceptibilidad por remoción en masa y erosión área de estudio provincia de Ubaté	144
Figura 31-3 Inventario de eventos reportados.....	146

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

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*.

El documento se estructura en cuatro grandes apartados. Un primer apartado presenta los conceptos básicos en el cual se contextualiza el tipo de análisis de vulnerabilidad y riesgo que se entiende es necesario llevar a cabo para valorar la vulnerabilidad y el riesgo de la minería ante el cambio y la variabilidad climática en el marco de la formulación de Planes de Adaptación Sectorial al Cambio Climático.

Un segundo apartado en el que se articulan una propuesta metodológica concreta a partir de los conceptos expuestos anteriormente, y donde, por tanto, se van detallando los distintos aspectos que supone su aplicación.

Posteriormente, en la tercera sección, se aplica la metodología propuesta al caso piloto de la minería del carbón en la provincia de Ubaté y, finalmente, en un cuarto apartado se introduce el manual de usuario, en formato Excel, y su aplicación en la elaboración de los cálculos y análisis requeridos.

PARTE I: ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA LA DEFINICIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD Y LOS RIESGOS AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA MINERÍA

1. ANTECEDENTES

El objeto de este documento es presentar una propuesta metodológica para llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad y riesgo de la actividad minera ante el cambio y la variabilidad climática. Para estos efectos se formuló una metodología preliminar básica, que recogía los conceptos metodológicos centrales sobre los cuales se proponía llevar a cabo el ejercicio, esta propuesta se aplicó a tres casos piloto: la minería del carbón en la provincia de Ubaté, de materiales de construcción en Villavicencio y del oro en el Bajo Cauca. A partir de esas experiencias se revisó y detalló la metodología que se presenta a continuación.

Disponer de una metodología que sea capaz de estimar los posibles efectos del cambio y la variabilidad climática en los distintos escenarios futuros sobre la actividad minera no resulta una tarea simple. Hay varios retos que superar teniendo en cuenta además que no se prodigan esfuerzos similares en otras latitudes, y los que hay 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.

En otros sectores, como en el energético, y más precisamente en el de la generación de energía hidroeléctrica o en el agrícola, ha parecido más fácil extrapolar al análisis de la vulnerabilidad de un sector metodologías de análisis de riesgo que son útiles para una operación singular.

En el primer caso, en el de la hidroelectricidad esto ha sido factible por la relativa homogeneidad tecnológica, el reducido número de operaciones hidroeléctricas, así como por la posibilidad de reducir las amenazas a un par de variables hidroclimatológicas claves y cuyo vórtice final es la escorrentía, lo cual facilita la estimación del comportamiento de esta variable en escenarios futuros cuando éstas no están disponibles a la escala que los cálculos requieren.

En el caso de la agricultura, se dan razones similares, pues se pretende contar con un conocimiento mucho más detallado de los recursos naturales implicados en el proceso productivo (suelo, agua, temperatura, etcétera) que pudieran llegar a ser afectados por las modificaciones climatológicas.

Todo ello ha hecho posible, en esos casos, pensar que resulta inmediato modelar la estimación de vulnerabilidad y riesgo, toda vez que las variables en juego (por tratarse de un número acotado) no sólo podían ser identificadas a priori con relativa facilidad, sino que sus relaciones funcionales de una u otra forma están teóricamente establecidas y, finalmente se disponía de información sobre las mismas para parametrizar los modelos y correrlos.

El caso de la estimación de la vulnerabilidad y riesgo de la minería pareciera estar en las antípodas, pues se presenta una multiplicidad de situaciones tecnológicas a escalas muy diversas, un gran número de operaciones, unas relaciones de dependencia de las variables climatológicas mucho menos clara y estudiadas, por ser en general menos relevantes en los procesos productivos, o tener una función más genérica, auxiliar o disímil de un tipo de explotación minera a otras, un nivel de información sectorial mucho más bajo, entre otros factores.

Esto no obsta que sea necesario realizar el ejercicio de estimación de la vulnerabilidad y el riesgo de la minería ante el cambio y la variabilidad climática, no sólo porque es obvio que pueda llegar a estar amenazada y es necesario prepararla para esa eventualidad, sino además porque los hechos ya han demostrado que la actividad minera puede sufrir amenazas y daños significativos por estos eventos climáticos.

Esta metodología intenta hacerse cargo del reto que supone generar información para la toma de decisión en política pública, como es la de adaptación, en condiciones de incertidumbre, que es como se puede caracterizar esta situación.

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 mismo, una actividad de generación de información para la toma de decisión. No es un ejercicio teórico válido en sí mismo y, por tanto, útil en cualquier circunstancia.

Teniendo esto en cuenta, se considera que lo apropiado en contextos de toma de decisión en incertidumbre, como es el caso que suponen 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 hoy la mejor decisión posible.

Por esta razón, esta metodología se formula consciente de que no tiene sentido pretender modelar con rigurosidad cuantitativa el cálculo de vulnerabilidad y riesgo de la minería ante el cambio y la variabilidad climática, con el fin de supuestamente identificar un riesgo determinado espacio y temporalmente, porque simplemente su resultado sería falaz, aunque además resulte formalmente muy difícil llevarlo a cabo (modelar hoy está al alcance).

Para asumir este reto no basta con proponer otra metodología, entendida como un conjunto articulado de pasos, es necesario redefinir cual es el propósito de la misma, si éste ya no puede ser el obtener un dato de riesgo como la probabilidad de ocurrencia futura de un daño espacial y temporalmente determinado, como en parte lo intentan hacer, a veces con algo de intrepidez, las modelaciones de vulnerabilidad en esos otros sectores que se han comentado más arriba.

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.

Sobre este concepto se propone una metodología coherente, pues genera una información que facilita la toma de decisión en el presente, y que es consistente con los grados de certidumbre que podemos tener hoy de eventos futuros a este respecto. El concepto de riesgo estructural releva al concepto de riesgo operativo tradicional como el propósito último del análisis.

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 y la variabilidad climática de una operación minera específica, sino de un sistema minero.

Por tanto el resultado del análisis de riesgos es el riesgo derivado de cruzar las características estructurales del cambio 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.

De este modo, la presente metodología se puede entender conceptualmente como lo que internacionalmente se conoce como un Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD, o *decision support system*, DSS por sus siglas en inglés).

La metodología propuesta tiene similitudes con los SAD en el sentido que estructura un procedimiento relativamente simple que permite integrar un conjunto muy disímil de información, proveniente de diversas fuentes y de juicios para generar información, que en este caso es un riesgo estructural, útil a la toma de decisión.

A diferencia de los SAD que articulan ese procedimiento compuesto por un conjunto de pasos heurísticos en un software específico, en este no se propone un modelo computacional automatizado, sino uno que opera de forma experta, para el que se facilita un aplicativo informático en base Excel. Aunque esta metodología no dispone de un software específico, pues

la apertura en este caso pareciera no hacerla posible, aunque pudiese en el futuro pensarse en algo así, comparte similitudes con los SAD por tratarse de una aplicación informacional

A diferencia de una metodología genérica de riesgo, que es relativamente abierta y no tiene mucho sentido estandarizar, acá se proponen unos pasos contados, que al modo de los SAD, van sumando información y juicio, y paulatinamente van generando una información ah hoc para el proceso decisional que la va a utilizar.

Lo que es una característica central de los SAD y esta metodología es que los resultados no tienen una validez universal, sino que está limitada a la decisión que están apoyando, pues es esa decisión la que ha ido acotando el procedimiento metodológico en muchos sentidos. Es justamente esa referencia lo que permite que el resultado que salga de un procedimiento heurístico (no teórico) de gestión de información, que combina información diversa y juicio, sea consistente para el propósito decisional en cuestión.

Lo anterior, también, permite que la metodología propuesta no sea pesada, que no requiera de ingentes insumos, ni recabar datos primarios, o descripciones extensas de sus ámbitos de análisis. Por el contrario, como los casos pilotos lo han demostrado, sobre la base de la estructuración previa del análisis que la metodología provee, es suficiente la información disponible, el juicio experto, cierto trabajo de campo y de gabinete, para generar resultados razonables para la toma de decisión en materia de adaptación, todo lo cual es una ventaja.

Así es como en los casos pilotos (Ampliamente documentados en el producto correspondiente de esta consultoría y brevemente expuesto en un caso en este documento), se pudo arribar a un mapa muy completo de vulnerabilidad y riesgo para cada sistema minero analizado, carbón subterráneo, oro aluvial, y material de construcción, a partir de una detallada pero limitada revisión bibliográfica, un trabajo de campo y el juicio experto del caso. Juicio experto que en este caso estaba comprendido por un ingeniero en minas, un hidrólogo, un geólogo, un economista y un sociólogo, más las contribuciones de los informadores cualificados entrevistados en terreno.

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 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 Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) y del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

Es decir se puede decir que la metodología permite establecer un conjunto verosímil o plausible de riesgos estructurales a los que se verá enfrentado el sistema minero frente a las amenazas del cambio y la variabilidad climática. Esta verosimilitud, es decir, este establecimiento de las condiciones de posibilidad de tales riesgos en los largos plazos de modelación, permite contar

con un mapa verosímil “realista” de los retos estructurales que enfrenta en ese plazo el sistema, y por tanto, definir objetivos, prioridades y articular una política, un Plan de Adaptación capaz de preparar no a una operación minera en particular, sino a un sistema minero, que se entiende es en definitiva el objeto de política de una política pública de esta naturaleza.¹

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.

¹ La utilización del concepto de plausibilidad es intencionada, pues enfatiza que esta metodología no pretende, ni cree posible en este contexto, establecer posibilidades de ocurrencia de un daño, cosa que debiera venir dada por una modelación de cosas y fenómenos espacio temporalmente determinados tal que fuese posible hablar, como resultado de esa modelación, de su posibilidad de ocurrencia. En este caso la modelación estructural de riesgo intenta establecer solamente la verosimilitud de un riesgo, que podría entenderse como su mera posibilidad de existencia. Esa posibilidad de existencia no se puede establecer sobre la base de un cruce de datos cuantitativos, sino sobre un razonamiento juicioso acerca de su posibilidad. Por esta razón el término más adecuado para referirse al conocimiento adquirido es el de plausibilidad del riesgo, pues es respetuoso con su naturaleza cognitiva.

2. EL OBJETIVO DEL ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD

El propósito declarado de la metodología de evaluación de vulnerabilidad y riesgos al cambio 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 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 hace una diferencia muy significativa con respecto a la definición de un plan de adaptación al cambio climático de una operación minera específica. Pues, en ese caso, la escala de identificación del riesgo debiera ser mucho más detallada para permitir definir medidas operativas específicas de adaptación o gestión del mismo.

3. EL SISTEMA DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

Considerando lo dicho anteriormente, lo que diferencia uno del otro es justamente el sistema para el cual se realiza el análisis de vulnerabilidad. Tal como lo señala la Hoja de Ruta para la Elaboración de los Planes de Adaptación Dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: “la formulación de un Plan de Adaptación inicia con la delimitación del sistema, con el propósito de compatibilizar las capacidades o recursos requeridos con los que están disponibles” (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 15).

El punto de partida de un análisis de riesgo a escala de operación es la definición de los componentes del sistema cuya vulnerabilidad será evaluada. A la escala sectorial minera esos componentes se presentan de manera más agregada que a escala de operación minera donde se requiere mayor detalle.

Por consiguiente, una primera tarea metodológica del análisis de vulnerabilidad es definir alguna modalidad descriptiva del “sistema minero” que va a ser sujeto del análisis de riesgo. La pregunta que debe responder el análisis es cuál es el riesgo de que las amenazas derivadas del cambio climático afecten a esos componentes y con qué posible intensidad.

Esto implica que la vulnerabilidad y riesgo a los efectos del cambio 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.

4. TIPOLOGÍA DE RIESGO: OPERATIVOS Y ESTRUCTURALES

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

Existen numerosas definiciones de riesgo, en el contexto del ordenamiento territorial en Colombia se ha señalado, por ejemplo que “el riesgo se relaciona con una situación potencial, con algo que aún no ha sucedido. Dentro del objeto de este documento, se puede definir como las posibles consecuencias desfavorables económicas, sociales y ambientales que pueden presentarse a raíz de la ocurrencia de un evento dañino en un contexto de debilidad social y física ante el mismo” (MAVDT, 2005, pág. 17).

Por otro lado, en términos generales, la Ley 388/1997 (ordenamiento territorial) define estos términos así:

- **Amenaza:** probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con potencial de causar daño (un deslizamiento en el medio del Amazonas, donde no hay personas, no se considera amenaza)
- **Vulnerabilidad (sensibilidad):** grado de exposición y capacidad de enfrentar los efectos adversos del fenómeno
- **Riesgo:** probabilidad de pérdida física o económica debido a la amenaza y la vulnerabilidad.

O bien, la Ley 1523/2012 (Gestión del riesgo) define:

- **Amenaza:** peligro latente de que un evento cause daños a la salud humana o a bienes y servicios.
- **Vulnerabilidad (susceptibilidad):** exposición a la amenaza.
- **Riesgo de desastre:** daños o pérdidas debido a eventos físicos peligrosos. Está determinado por la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Y hay más definiciones de riesgo disponibles en el contexto nacional:

- El riesgo en su sentido convencional se entiende como “...La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad” (CIIFEN, 2015).
- “Riesgo: posibilidad de que suceda algún evento que tendrá un impacto sobre los objetivos institucionales o del proceso. Se expresa en términos de probabilidad y consecuencias.” (DAFP, Departamento Administrativo de la Función Pública, 2009, pág. 14).

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 todas las definiciones anteriores, 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.

Para que esto suceda tiene que haber una función que describa la relación causa-efecto, entre el evento y el efecto generado, de la cual se puedan derivar relaciones de probabilidad e intensidad del daño, entre otros.

Bajo este paradigma de evaluación de riesgo lo que se estima es un riesgo operativo. De hecho, se identifica una posible afección de un sistema a escala de su operación “real”, materialmente determinada en el espacio y el tiempo, y con un grado aunque sea estimativo (probabilístico o no) de ocurrencia.

Existen pocas definiciones en la literatura respecto de qué pueda ser un riesgo operativo, se encontraron, que fueron extraídas de dos ámbitos distintos que nos ayudan aclarar o mejorar el concepto.

El Comité de Supervisión Bancaria de Basilea en el Acuerdo denominado Basilea II señala que: “el riesgo operativo es el que proviene de fallas de información en los sistemas o en los controles internos que pueden provocar una pérdida inesperada. Este riesgo se asocia con errores humanos, fallas en los procesos e inadecuados sistemas y controles” (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2004, pág. 128).

“Por riesgo operacional se entiende cualquier falla o deficiencia futura, dentro de las actividades operacionales que pueden obstaculizar el logro de los objetivos estratégicos, operativos y/o financieros de la organización, o que puedan llegar a generar pérdidas potenciales” (Wikipedia, 2015).

En ambas definiciones se trata del riesgo en el operar materialmente determinado de un sistema. La identificación de riesgos operativos requiere para su evaluación de una modelación uno a uno

de sus relaciones causales. Es decir, requiere de una descripción más o menos precisa mediante modelaciones y artificios metodológicos que relacione en una dimensión espacio temporal precisa el evento y el componente afectado, pues tiene que describir riesgos en una escala real.

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 y la variabilidad climática, difícilmente se puede aplicar el paradigma de análisis de riesgo descrito arriba. Es evidente que, por el problema de las escalas, que supone definiciones de los componentes del sistema a escala agregadas, no se dispone de componentes materialmente tangibles que puedan ser afectados por eventos materialmente descriptibles, de tal modo que pudieran ser susceptibles de modelación basada en algún tipo de función causa efecto de ese tipo.

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 qué 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. Sus resultados no apuntan, como se ha insistido a identificar probabilidades de daños específicos, sino a identificar la

plausibilidad de que el sector minero o parte de él pueda verse enfrentado a nuevos escenarios de riesgo y valorar los elementos estructurales que lo hacen más propenso a que los efectos negativos de determinados eventos se materialicen. Por ello ayudan a construir una estrategia de acción frente a un riesgo antes que generar acciones operativas de gestión de un riesgo operativo.

El análisis de riesgos estructurales no tiene, por lo tanto, el propósito de predecir y gestionar eventos singulares en el tiempo y el espacio, sino generar estrategias para la gestión de riesgo de acuerdo a una descripción razonable de una situación (condiciones estructurales) de riesgo plausible a futuro.

5. EL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA COMO ANÁLISIS DE RIESGOS ESTRUCTURALES

Más allá de que el análisis de vulnerabilidad y riesgos en este caso, esté circunscrito a la formulación de un plan sectorial de alcance nacional, cuyas escalas condicionan el uso del análisis de riesgo estructural, la propia naturaleza del riesgo en cuestión parece, además, recomendarlo.

Pues dadas las incertidumbres asociadas tanto a la generación de los eventos climáticos como a las condiciones internas y de contexto de cada sistema susceptible de afectación, resulta aventurado pretender llevar a cabo un análisis de riesgos operativos. Es decir, uno que pretenda evaluar con una precisión estimable de ocurrencia en el espacio y tiempo de daños materiales provocados por los eventos naturales asociados al cambio climático, en los escenarios previstos a 29, 59 y 89 años. Bien es cierto que el horizonte operativo de las concesiones mineras pueden ser más cortas, 30 años prorrogables. En todo caso eso no es óbice para limitarse a los tiempos normativos.

De igual forma, lo que resulta altamente probable es que nada de lo que pueda estimarse ocurrirá efectivamente en 29, 59 u 89 años tal como lo podamos prever. Por tanto, *el problema a futuro no es cómo gestionar un riesgo operativo determinado, que con toda probabilidad no va a ocurrir exactamente del modo en que se describe actualmente, sino cómo gestionar las estructuras de riesgo que la sociedad y el sector tendrán que manejar de aquí a 29, 59 y 89 años.*

En este sentido las metodologías de evaluación de vulnerabilidad y riesgo antes que enfocarse en la simulación de eventos “reales” que pudieran llegar a ocurrir, debiera focalizarse en la descripción de las condiciones estructurales de esos riesgos, para generar información que ayude a mejorar las estructuras a largo plazo, antes que generar información para prevenir riesgos operativos materiales, cuya ocurrencia no se puede determinar con un mínimo razonable de certeza a la fecha.

Esto resulta coherente con la propia definición del alcance del ejercicio de escenarios de cambio climático según señala el propio Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). “El término *escenario* se refiere a una descripción coherente, internamente consiste y convincente de un posible estado futuro del mundo. No es un pronóstico. De hecho cada escenario es una imagen alternativa de cómo el futuro puede revelarse... Un sinónimo de escenario usado frecuentemente es caracterización futura (IPCC-DCC 2013)” (IDEAM, 2015).

De acuerdo con lo anterior, el análisis de riesgos estructurales puede bien definirse como una caracterización futura de una situación de riesgo, antes que una predicción de un riesgo materialmente determinado.

Igualmente, en el marco de los ejercicios de generación de escenarios de cambio climático el IDEAM establece la finalidad última de llevarlos a cabo: “el objetivo de trabajar con Escenarios de Cambio Climático no es predecir el futuro climático, es evaluar un amplio espectro de posibilidades respecto al posible comportamiento del clima en el futuro y entender las incertidumbres asociadas con el fin de...” **orientar decisiones robustas que permitan anticiparse a los posibles hechos** “...y generar desde hoy un accionar eficaz que permitirá introducir los cambios sociales, ambientales, económicos y políticos necesarios para no llegar a la situación proyectada de un futuro desfavorable.” (IDEAM, 2015, pág. 8).

El esfuerzo por entender los posibles estados climáticos futuros es para ayudar a tomar decisiones que permitirán anticiparse a posibles eventos. Ahora bien, el ejercicio de evaluación de riesgo debido a los efectos del cambio climático justamente es un nuevo paso para apoyar ese proceso decisional.

El cálculo de riesgos derivados de los escenarios de cambio climáticos sobre la minería supone cruzar una información sobre un estado futuro probable de un sistema hipercomplejo, en unos horizontes de 29, 59 y 89 años, con otros estados plausibles de al menos otros varios sistemas hipercomplejos (el del medio natural y social donde se dan las variaciones de temperatura y precipitación y el del sistema minero) en esos mismos horizontes temporales, con lo que la capacidad de ese ejercicio para identificar con algún grado discernible de certidumbre riesgos materiales “reales” u operativos futuros, es extremadamente baja sino inexistente.

Una publicación de la OCDE que realiza una extensa revisión de planes de adaptación ha señalado:

“Algunos de los temas clave de esta literatura han sido los desafíos generados por horizontes de largo plazo considerados en la toma de decisiones sobre la adaptación, la incertidumbre generalizada sobre la magnitud (e incluso la dirección) de los cambios climáticos y las deficiencias de la información (Agrawala y Fankhauser, 2008; Hallegatte, Lecocq y de Perthuis, 2011). Estos se han ilustrado en forma de niveles de incertidumbre, donde la incertidumbre aumenta en cada etapa del pronóstico del impacto del cambio climático [...], dificultando saber para cuáles impactos planificar y por lo tanto cuáles medidas de adaptación serán necesarias” (Mullan, 2013, pág. 13).

Por esta razón, lo que permite justamente en ese contexto tomar decisiones relevantes que permitan efectivamente anticiparnos a los hechos, no es identificar materialmente esos tales hechos, pues la incertidumbre sería tal que probablemente no se esté identificando hecho positivo alguno futuro, sino identificar tipologías de riesgos (hechos) nuevos a los que el sector se puede eventualmente ver enfrentado a futuro.

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

No se trata de anticiparse a hechos, pues ellos son casi inescrutables, sino a escenarios posibles de riesgos (es decir, escenarios de hechos plausibles). Así se puede entender el análisis de riesgos estructurales; dibujar escenarios de riesgo que se derivan de las situaciones que generan un conjunto de condiciones estructurales nuevas.

La necesidad en ocasiones de modificar incluso los modelos decisionales debido a los grados de incertidumbre está asimismo reconocida en el Quinto informe de Evaluación del IPPC.

6. LA CADENA CAUSAL DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

De acuerdo al Documento Hoja de Ruta para la Elaboración de los Planes de Adaptación Dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, “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. 25).

A continuación se entiende que, “una **amenaza** es un peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, o también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. En el marco de la adaptación al cambio climático, las amenazas corresponden a los eventos climáticos que incluyen: cambio climático, variabilidad climática y eventos climáticos extremos” (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 25).

La **exposición**, por su parte, está definida en el siguiente párrafo:

“Una buena parte de los impactos sociales y el aumento de las pérdidas económicas asociados a eventos climáticos son consecuencia de un incremento en la exposición, es decir una mayor **presencia** de personas, comunidades, recursos naturales y servicios ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían ser afectados por el clima” (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 25)²

La **vulnerabilidad**, por su parte, se entiende compuesta por la **sensibilidad** y la **capacidad de adaptación**.

“Es así como la sensibilidad hace referencia a la predisposición física del ser humano, la infraestructura o los ecosistemas de ser afectados por una amenaza, debido a las condiciones de contexto e intrínsecas que potencian el efecto de la amenaza. Mientras que la capacidad de adaptación se define como la capacidad de un sistema y de sus partes de anticipar, absorber, acomodar o recuperarse de los efectos de un disturbio de

² “Much of this uncertainty can be managed through framing and decision processes. For example, a predict-then-act framing is different to an assess-risk-of-policy framing. (SREX Section 6.3.1 and Figure 6.2; Lempert et al., 2004). In the former, also known as “top-down,” model or impacts-first, science-first, or standard approach, climate or impact uncertainty is described independently of other parts of the decision problem.....In contrast, the “assess-risk-of-policy” framing (Lempert et al., 2004; UNDP, 2005; Carter et al., 2007; Dessai and Hulme, 2007) starts with the decision-making context. This framing is also known as “context-first” (Ranger et al., 2010); “decision scaling” (Brown et al., 2011); “bottomup”; vulnerability, tipping point (Kwadijk et al., 2010); critical threshold (Jones, 2001); or policy-first approaches (SREX Section 6.3.1)” Pág. 208.

una forma oportuna y eficiente. Esto incluye la capacidad para preservar, restaurar o modificar, y mejorar sus funciones y estructuras básicas.” (DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 25).

Estos conceptos quedan recogidos en el siguiente algoritmo:

Riesgo = f (Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad)

Vulnerabilidad = f (Sensibilidad, Capacidad de Adaptación)

Los que leídos en términos de este documento pueden expresarse de la siguiente forma:

Amenaza = posibilidad de que un evento originado por la modificación de la temperatura o las precipitaciones derivadas del cambio climático afecte a un componente del sistema minero.

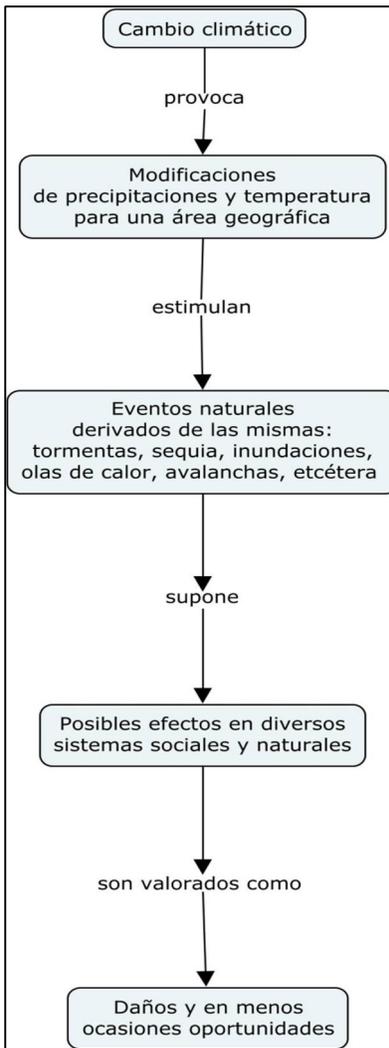
Exposición = grado de presencia del elemento del sistema minero amenazado en el radio de acción del evento originado por la modificación de la temperatura o las precipitaciones.

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.

Estimar los riesgos que generan o pueden generar las variaciones climáticas, actuales y futuras, en un sector como la minería implican una cadena causal larga y compleja, reflejada en la Figura 6-1.

Figura 6-1 Cadena causal de efectos del cambio climático para los análisis de riesgo



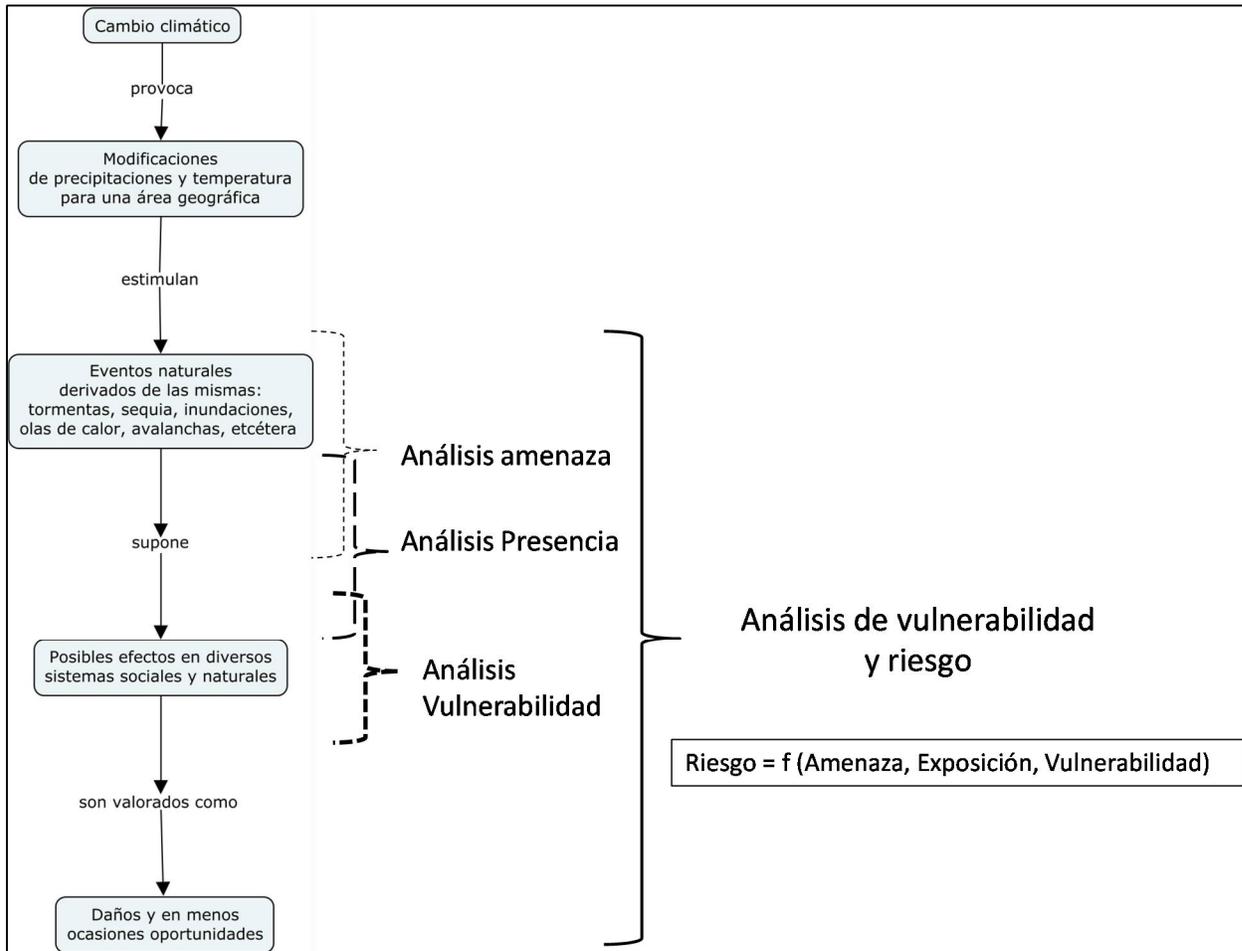
Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Para estimar el riesgo del sistema minero por variaciones climáticas es necesario realizar un conjunto de estimaciones de hechos que en la actualidad no se dan y que están relacionados en cadena.

Explicado de atrás hacia adelante, para estimar el riesgo climático en el sistema minero es necesario evaluar cuáles elementos del sistema minero materialmente y espacio-temporalmente se considera (es decir, en unas coordenadas espacio temporales específicas) se verían afectados por eventos naturales o no, como la sequía o remociones en masa o inundaciones. Además, estos eventos debieran ser espacio-temporalmente determinados porque actualmente no se dan o lo hacen incipientemente o muy aleatoriamente comparado con el cambio esperado del clima, que a su vez obliga a calcular la medida en la cual esos eventos serían producidos por las

variaciones en el comportamiento de las variables climáticas centrales, como son las precipitaciones y la temperatura en esas coordenadas espacio temporales específicas. El análisis de vulnerabilidad y riesgo de los efectos del cambio climático en la minería, abarca parte de esa cadena causal, como queda recogido en la Figura 6-2.

Figura 6-2 Cadena causal efectos del cambio climático y análisis de riesgo



Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

No obstante, para poder estimar el riesgo es preciso contar con un conjunto amplio de datos de efectos de la cadena causal completa. Es obvio que no se pueden conocer las posibles amenazas por avenidas torrenciales sobre cualquier componente del sistema minero si no se conocen antes las modificaciones en la escorrentía, que a su vez puede ser provocada por las posibles modificaciones de las precipitaciones en un área derivadas del cambio del clima global.

Ya lo señala el Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, sigla en inglés):

“Para que una evaluación de impactos basada en escenarios contribuya a una evaluación de vulnerabilidad y riesgo se requiere llevar a cabo una serie de traducciones. Las proyecciones de escenarios de GEI proyectadas se deben convertir en cambios climáticos, impactos deben ser evaluados, probablemente con adaptación autónoma, llevando a la evaluación de variadas opciones de adaptación. Esta serie de traducciones requiere la transformación de datos a través de varias escalas de tiempo y espacio, entre ciencias naturales y sociales, utilizando una amplia variedad de herramientas analíticas que representan áreas como la agricultura, la silvicultura, el agua, la economía, la sociología, y los sistemas socioeconómicos y socio ecológicos.

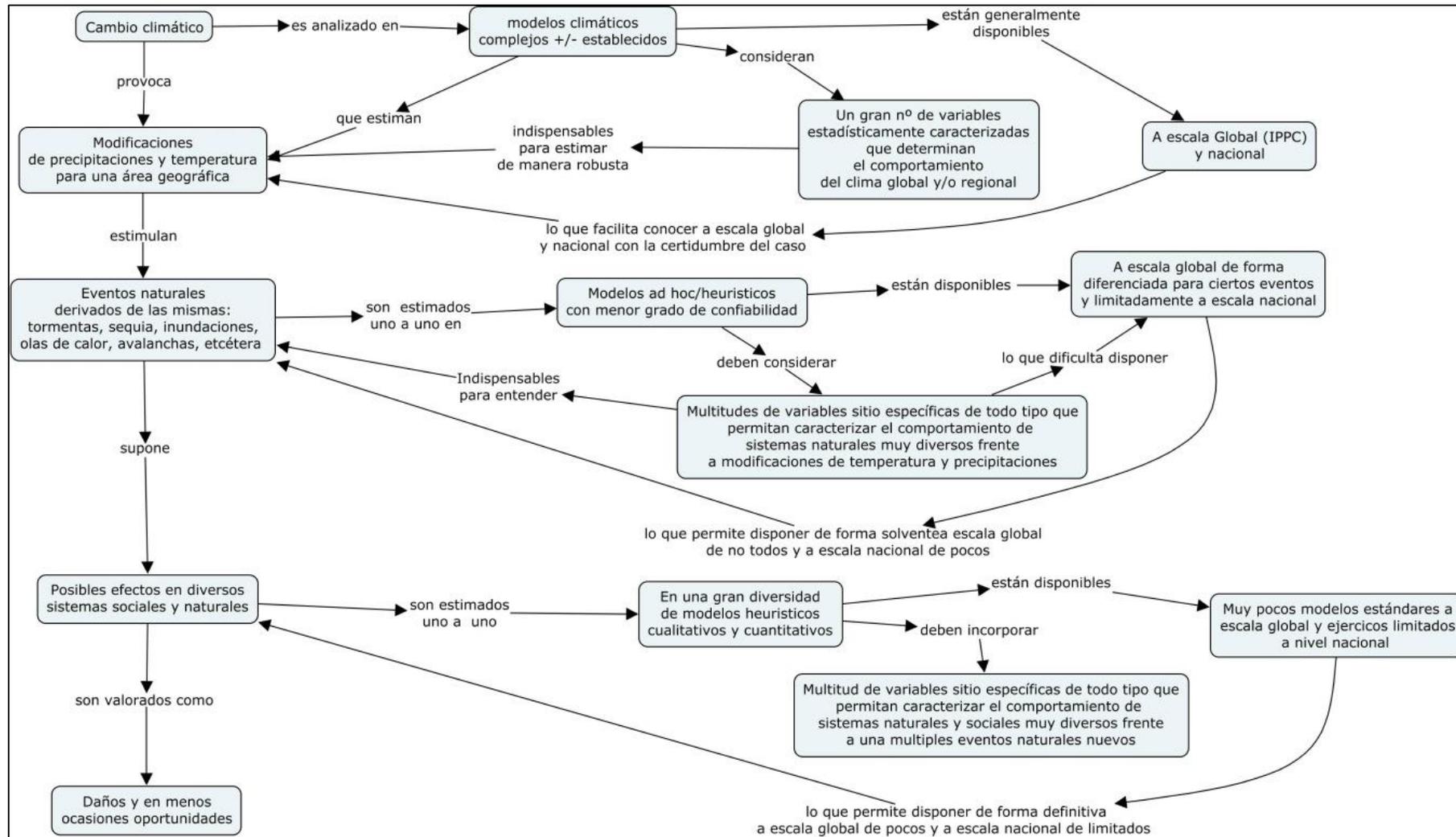
Los escenarios climáticos son traducidos en escenarios o proyecciones de impactos de variables biofísicas y socioeconómicas tales como flujos de aguas superficiales, suministro alimentario, erosión costera, resultados en salud y distribución de especies (e.g., European Climate Adaptation Platform, <http://climate-adapt.eea.europa.eu>). Climate services help establish and support the translation process (Section 2.4.1)”. (Jones, 2014, pág. 213).

Como se trata de un proceso de estimaciones encadenadas de hechos con escaso precedente, se requiere de un ingente número de modelos cuya robustez está en permanente evolución/discusión, y muchos de los cuales no están disponibles aún, por su propia complejidad.

Por tanto, el grado de conocimiento de los efectos en cada uno de esos eslabones de la cadena causal es muy diverso, y como se ha dicho, en general con muy diferentes niveles de certidumbre o confianza.

El estado de avance en el conocimiento de los efectos de esa cadena causal y sus repercusiones para el análisis de riesgo se puede visualizar sintéticamente en la Figura 6-3.

Figura 6-3 Visión sinóptica del estado general del conocimiento y herramientas de conocimiento de efectos del cambio climático a lo largo de la cadena causal para el análisis de riesgos



Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Llevar a cabo el análisis de riesgos para el sector de la minería derivado del cambio climático supone, en cualquier caso, disponer de la información sobre todos los eslabones de la cadena causal descrita en las ilustraciones previas. Por ello, resulta necesario disponer de un balance del estado actual de la información en cada una de esos eslabones, como se refleja en la Figura 6-3.

Lo que brevemente indica la mencionada figura es que, con todas las reservas del caso, muy transparentemente explicitadas en el Quinto informe de Evaluación del IPCC, se tiene un conocimiento confiable y disponible sobre las causas y las modificaciones globales del clima como para apoyar la toma de decisión, así como hay disposición de información confiable sobre varios de los efectos secundarios; sin embargo, no sobre todos, a escala global y regional (continental) que esas modificaciones generarían, aunque con un menor grado de generalidad en cuanto a la robustez de los modelos y métodos aplicados para su obtención.

La información disponible a escala global sobre las consecuencias de los efectos secundarios del cambio climático en diversos sistemas naturales o antrópicos, es a diferencia de los anteriores, menos comprensiva, menos confiable, y lograda mediante modelos aún más abiertos o heurísticos y menos robustos.

En todo caso, en su conjunto esta información parece más que suficiente para soportar la toma de decisión respecto del cambio climático a escala global, más allá de que todo el aparataje conceptual y metodológico deba perfeccionarse.

No obstante, los efectos primarios y secundarios del cambio climático estimados a escala global o continental no son suficientes para apoyar la toma de decisión regional o nacional, lo que hace necesario contar con datos a esas escalas. Es la tarea que han emprendido las comunicaciones nacionales ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, en el caso de Colombia la segunda comunicación (IDEAM, 2010) y la tercera comunicación (IDEAM, 2015) que se haya en proceso de elaboración.

Ambas, con distinto grado de detalle y orientación metodológica presentan escenarios de cambio climático con varios horizontes temporales, que estiman las posibles variaciones de precipitación y temperatura para las diferentes regiones hidrológicas del país (la primera) y para cada departamento (la segunda).

Asimismo, cada una realiza una estimación de los efectos secundarios de esas modificaciones de estos componentes básicos del clima, así como de la vulnerabilidad del país ante los mismos.

El IDEAM (2010), con la única información disponible para Colombia sobre efectos secundarios y vulnerabilidad por cambio climático, ha realizado un ejercicio de estimación que comparado, por ejemplo, con los informes del IPCC, puede ser considerado como inicial, pues se estiman

pocos efectos secundarios y con aproximaciones metodológicas y de escalas, no sólo diversas, sino que de muy distinta consistencia y robustez, con lo cual la información resultante, siendo de utilidad para la Comunicación y la política nacional de cambio climático, no necesariamente es un soporte sólido, y suficientemente detallado o completo para análisis posteriores como el que tiene por objeto este estudio.

En cuanto a la estimación de los efectos secundarios en algunos sistemas, como el ambiental o el agrario, la segunda Comunicación Nacional realiza estimaciones para aquellos aspectos que pueden ser considerados más relevantes, pero no hace un barrido sistemático de efectos secundarios sobre los diversos sistemas que pudiesen verse afectados, que es justamente la labor que es parte de este estudio para el caso de la minería.

No obstante, lo que es importante señalar es que lo avanzado no es necesariamente extrapolable para otros ejercicios de evaluación de vulnerabilidad y riesgo de otros sistemas, como el minero, pues son ejercicios estrictamente ad hoc, y sobre la base de aproximaciones que por ad hoc o heurísticas son modificables, como lo son en la Tercera Comunicación, con lo que sus resultados no necesariamente mantienen su vigencia.

Es difícil imaginar que fuese otro el escenario de avance en esta materia a la fecha, dada la complejidad del tema. No es imaginable más que un proceso de progresión lenta de la disponibilidad de información útil para la toma de decisión, dependiente también de la disponibilidad de ingentes recursos e instituciones para conseguirla.

Todo lo anterior permite contextualizar y delimitar el alcance del esfuerzo metodológico de la presente metodología.

- En primer lugar, el único dato duro, si es posible designarlo así, disponible en la actualidad, obtenido mediante una metodología consolidada para llevar a cabo un análisis de vulnerabilidad y riesgo de los efectos del cambio y la variabilidad climática en la minería es el relativo a las posibles variaciones de temperatura y precipitación realizadas en el marco de las Comunicaciones Nacionales expresadas a escala departamental.

Si el trabajo del análisis de vulnerabilidad y riesgo tuviese una escala distinta, lo que es del todo previsible, es probable que no sea posible continuar usando ese dato, teniendo en consideración su efecto.

- En segundo lugar, no hay disponibilidad de información o metodologías consolidadas para dar el segundo paso. Esa siguiente etapa consiste en estimar los efectos secundarios que parezcan relevantes, de esos efectos primarios, salvo de manera específica, para valorar, por ejemplo efectos agrícolas.

Si se tiene en cuenta que las pérdidas que pueda sufrir el sistema minero se derivan justamente de esos efectos secundarios, como posibles sequías o remociones en masa, o inundaciones, etc., esta carencia de información es metodológicamente relevante y difícil de superar para el actual ejercicio.

No es evidente quién o cómo se deba llevar a cabo ese segundo nivel de cálculo de efectos. Por ejemplo, la variación en precipitación debiera dar lugar a una modificación en la fase terrestre del ciclo hidrológico, cuya principal, pero no única variable a considerar sea la modificación en la escorrentía. Esta modificación puede a su vez constituir el punto de partida de varios efectos en diversos sistemas, el agrícola, el energético, etc. Lo mismo se puede decir de la emergencia de eventos climáticos extremos, por mencionar uno.

El efecto de la modificación de la escorrentía por afectar a varios sistemas debería estar sujeto a una modelación genérica, es decir, no sólo realizada para estimar efectos en el sector hidroeléctrico, por ejemplo. Aunque el sector hidroeléctrico pudiese tener que añadir estimaciones para calcular su efecto, pues debe transformar la escorrentía en aportaciones específicas en determinados ríos, como efectivamente se ha hecho en un estudio encargado en 2013 por la UPME.

Esos estudios requieren estimar escorrentía y aportaciones para llevar a cabo el cálculo de efectos para el sector hidroeléctrico. Todos implican la utilización de una gran cantidad de modelos teóricos, de información, y supuestos, todos válidos, pero no únicos. Las decisiones técnicas tomados en un ejercicio pudieran ser luego revertidas en otros ejercicios sectoriales, lo que terminaría en un absurdo.

Por ejemplo, el modelo de estimación de la escorrentía utilizado en el ejercicio en cuestión considera como punto de partida, para la estimación de la variación de la misma, obviamente, las modificaciones en la precipitación estimadas por los escenarios de cambio climático, y luego la cobertura del suelo y distribución de la vegetación existente para determinar la escorrentía final. No obstante, pareciera, más allá de la obvia opacidad del contenido exclusivamente técnico de los documentos en cuestión, que no se considera en la modelación la variación estimada de la temperatura derivada del cambio climático lo que debiera incluir de forma determinante en la evapotranspiración y, por tanto, en la escorrentía. Quizás, a efectos de los cálculos de efectos en el sistema energético esto no tuviese importancia, pero en otros sectores pudiese no ser el caso (OPTIM y ACON, 2013).

- En tercer lugar, no existe una aproximación sistematizada a escala nacional para la estimación de los posibles efectos secundarios en los sistemas finalmente afectados, menos una metodología de estimación de riesgos, salvo la formulación de una aproximación teórica general.

Esto es relevante, pues como se puede ver actualmente que el *quid pro quo* de toda evaluación de vulnerabilidad y riesgo no es saber en qué consiste, cosa bien establecida, sino en determinar cómo salvar las carencias metodológicas y de información establecidas y validadas para lograrlo.

Por ejemplo, la evaluación de vulnerabilidad del sector energético al cambio climático sólo consideró evaluar el riesgo derivado de la disminución de caudales para la generación de energía hidroeléctrica, cuando es evidente, y el estado del arte a nivel internacional señala que la paleta de efectos y riesgos es muchísimo más amplia. ¿Porque se hizo así? ¿Obedeció a una decisión nacional de priorización en ese sentido? ¿Se debiera hacer lo mismo en el caso minero? ¿Qué sucede si en el caso minero se decide con otros criterios de priorización que en el energético? ¿Cuáles fueron los criterios de gestión de las incertidumbres de los cálculos realizados en el caso de la energía? ¿Deben ser los mismos en el caso de la minería?

Este balance ilustra el alcance, los retos y el contexto para desarrollar una metodología de evaluación de vulnerabilidad y riesgos de la variabilidad y el cambio climático para el sector minero.

De la misma forma, confirma lo apropiado de la propuesta metodológica realizada en el sentido de que en el centro del análisis de vulnerabilidad y riesgo de los efectos del cambio climático en la minería se ubique el concepto de riesgo estructural.

En primer término, una aproximación estructural como la propuesta permite salvar los vacíos de información existentes, en particular los relativos a la estimación de efectos secundarios, pues no pretende modelar hechos materialmente verificables, sino condiciones estructurales, que hacen emerger escenarios de riesgo.

Eso elimina la necesidad de modelos extremadamente complejos que pretenden trazar el comportamiento "real", actual y futuro, de determinadas variables. En todo caso, si bien la mayoría de las modelaciones utilizadas en diversos ejercicios a partir de la estimación de los efectos secundarios del cambio climático parten formalmente de un paradigma convencional, en el sentido de que presuponen un ejercicio destinado a estimar hechos "reales", por problemas de escalas y carencias teóricas y de información terminan siendo modelos escasamente deterministas y heurísticos muy abiertos, cuyos resultados difícilmente pueden calificarse como hechos con alguna probabilidad de ocurrencia, sino más bien hechos con algún grado de plausibilidad, lo que se acerca mucho en cuanto a la naturaleza (epistemológica) del conocimiento resultado de un análisis de riesgo estructural.

En segundo lugar, ofrece una aproximación metodológica integrada al análisis de riesgo del sector frente al cambio climático, pues establece una senda metodológica propia que no depende de simulaciones de hechos reales por modelos independientes y pensados cada uno para fines

distintos, sino que permite integrar de forma muy amplia datos provenientes de distintas fuentes operando como un marco analítico para el análisis de riesgo que, antes que pretender seguir la compleja cadena causal de hechos reales ya visualizada en las diversas ilustraciones anteriores, modela el riesgo a partir de la fórmula antes expuesta, evidente y simple.

Para las anteriores consideraciones y complejidades es preciso añadir que un análisis de efectos secundarios futuros del cambio climático y de vulnerabilidad se requiere conocer, como señala el capítulo respectivo del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, no sólo los efectos secundarios, sino la posible evolución de los sistemas afectados en los horizontes utilizados en los escenarios de cambio climático (el social, el económico, el urbano territorial, etcétera), lo que hace aún más compleja una evaluación sobre unas bases paradigmáticas deterministas (estocásticas). En general, las estimaciones de vulnerabilidad y riesgo en el marco del IPCC se han realizado sobre la base de *ceteris paribus*, es decir, sólo considerando sistemáticamente la modificación del clima y sus efectos secundarios, consecuencias que afectan de los restantes sistemas tal cual ellos están constituidos actualmente. Todo esto encaja, obviamente, en un paradigma de gestión iterativa del riesgo derivado del cambio climático.

7. EL PLAN SECTORIAL DE ADAPTACIÓN VERSUS EL PLAN NACIONAL Y LOS PLANES TERRITORIALES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El ejercicio de análisis de vulnerabilidad y riesgo para un sector como la minería, requiere de dos delimitaciones metodológicas de áreas de trabajo. Por un lado, se define el sistema sujeto de evaluación, cosa que ya se ha abordado en el capítulo 3 *EL SISTEMA DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO*. Por otro lado, se requiere delimitar el alcance decisional del plan sectorial de adaptación frente a otros planes de adaptación, el nacional y los problemas planes regionales o territoriales de diversa índole.

Esta necesidad surge porque para disminuir la propensión al riesgo, de acuerdo a la fórmula analizada y explicada anteriormente, se puede actuar en varios sentidos, sobre los efectos secundarios del cambio climático o sobre las amenazas. Por ejemplo, se pueden evitar o disminuir el riesgo a remociones en masa con proceso de gestión de cuenca, revegetación, reforestación, etc.

Ahora bien, la gestión de esa amenaza quizás no debiera ser un tema del plan de adaptación sectorial, sino del territorial o nacional, pues este desafío está presente en diversos sectores, asegurando una gestión más eficiente y eficaz de la misma. Aunque el plan sectorial pudiera y debiera enfatizar en su importancia dado el peso que tiene sobre los riesgos sectoriales.

Puede ser igualmente posible que un aspecto muy singular de esa amenaza se enmarque dentro del plan de adaptación sectorial por razones territoriales, por ejemplo solo porque hubiese una actividad minera en ese territorio o porque un aspecto particular de la amenaza lo sea solo para la minería.

Por consiguiente, los tres elementos restantes de la gestión del riesgo (presencia, sensibilidad y capacidad de adaptación) pueden conformar el núcleo de esta actividad por parte del plan sectorial de adaptación al cambio climático. Esto les otorgaría a los planes sectoriales un espacio de gestión propio.

Esta puede ser una aproximación razonable para la elaboración de esta metodología y para el estudio en el cual se enmarca. No obstante, debiera ser también una reflexión más general de la formulación de la política de cambio climática del país.

PARTE II: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS ESTRUCTURALES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA MINERÍA

El conjunto de reflexiones anteriores se materializa en una propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad y riesgo para el sector minero frente al cambio climático que se describe a continuación.

De forma general la metodología se articula en los siguientes pasos:

- a. Identificación de la posibilidad futura de eventos climáticos derivados del cambio y la variabilidad climática en el área de estudio para los escenarios estándar de cambio climático
- b. Descripción del sistema minero tipo que es sujeto de análisis y de sus componentes.
- c. Primera identificación de amenazas potenciales de los eventos a los componentes del sistema minero tipo.
- d. Contraste y revisión de las amenazas identificadas en visita de campo.
- e. Valoración de la gravedad de las amenazas.
- f. Cálculo de grado de sensibilidad y capacidad de adaptación del sistema minero.
- g. Cálculo del riesgo y vulnerabilidad del sistema minero antes el cambio y la variabilidad climática.
- h. Análisis de los riesgos identificados.

A continuación se desarrollan diversos aspectos metodológicos asociado a esta secuencia metodológica.

8. UNIDAD DE ANÁLISIS

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 entendió por sistema minero tipo el conjunto de operaciones mineras dedicadas a la extracción de recursos mineros (carbón, oro, etc.) con similares características operativas (p.e. carbón subterráneo), similares condiciones empresariales y de gestión (pequeña y mediana empresa), en un espacio geográfico determinado (Provincia de Ubaté, Cundinamarca).

En uno de los casos pilotos llevados a cabo en este estudio un sistema minero analizado, lo constituyó el sistema minero de carbón subterráneo de pequeña y mediana minería de la Provincia de Ubaté, Cundinamarca.

9. LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA MINERO TIPO

El sistema minero, tal como se ha definido, está caracterizado por el comportamiento medio del conjunto de operaciones mineras que lo componen. Es decir, el análisis de vulnerabilidad y riesgo se lleva a cabo para ese conjunto, y no para cada una de las operaciones que la pueden componer.

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 calidad³.

De manera que, si bien muchos de ellos pueden no estar afectados en primera instancia por amenazas naturales derivadas del cambio climático, sí podrían ser afectados de forma indirecta, o bien ser relevantes para entender la sensibilidad y la capacidad de adaptación del sistema.

Por consiguiente, se pueden entender como componentes del sistema determinadas características del entorno de las actividades mineras mismas.

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 que se ha comentado, el componente "tecnología de extracción" pudiera ser caracterizado, por decirlo rápidamente, "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.

En cada caso la descripción cuidadosa de cada componente del sistema minero evaluado resultará fundamental para la evaluación de vulnerabilidad y riesgo, pues de él dependerá poder entender si él puede ser sujeto de una amenaza, así como valorar su sensibilidad y capacidad de adaptación.

³ A efectos operativos de la formulación de un plan de adaptación sectorial al cambio y la variabilidad climática el análisis de vulnerabilidad de los sistemas mineros del país pudiese avanzar teniendo como referencia el concepto de Distrito Minero. De tal manera que los planes de adaptación tengan como referencia el distrito minero. Sin embargo, el análisis de vulnerabilidad en cada distrito minero deberá realizarse de forma individualizada para cada sistema minero tipo presente en el distrito, si hay más de uno. No obstante, la información de base meteorológica y del medio natural y del entorno será común para todos ellos, generándose importantes economías de escala.

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 obviamente 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 a las que éste puede verse sometido por los eventos climáticos, en el entendido también que la única de análisis última es el sistema minero y no sus componentes.

9.1 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.

9.2 Componente recursos humanos

Como es de esperarse 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).

9.3 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 et al., 2010). Como es de esperarse contempla los sistemas hospitalarios, de abastecimiento de agua potable, energía, alimentos, combustibles y explosivos, equipos, maquinarias y herramientas, entre otros.

9.4 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 abierto⁴. Por ser el núcleo del negocio minero sus actividades son esenciales en el análisis de riesgos asociados al cambio climático.

Componente de 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

⁴ Estos métodos se pueden presentar conjuntamente
ACON-Miembro Grupo INERCO

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.

Las actividades comunes a los tipos de explotación subterránea pueden sintetizarse como se muestra a continuación (MME & MMA, 2002, págs. 50 - 52), (UPME & Geominas, 2006).

- Subcomponentes de la minería subterránea
 - Preparación. Consiste en dar acceso al depósito a través de túneles (cruzadas horizontales), galerías inclinadas o pozos verticales. Exige operaciones de perforación y voladura, cargue, transporte y soporte de paredes y techo (entibación). Junto con el avance se instalan rieles, malacates y sistemas eléctricos, de ventilación y de bombeo.
 - Arranque. El avance de los túneles de acceso y explotación requiere el constante desprendimiento de estériles y material de interés, mediante operaciones manuales (pico y pala), mecánicas (martillos neumáticos o rozadoras) o explosivas (perforación y voladura). Para garantizar la estabilidad de los socavones se requiere la fortificación (entibación) del techo y las paredes con madera, metal o material de relleno.
 - Almacenamiento, cargue y transporte en galerías principales. Para el almacenamiento temporal dentro de la mina se utiliza gravedad o alimentadores mecánicos en compuertas o tolvas. En el transporte interno se usan tolvas, trenes, coches manuales y malacates, bandas transportadoras, volquetas y cargadores frontales.

- Métodos de extracción subterránea

El método extractivo a utilizar está basado en el buzamiento de la estructura mineralizada (mantos, capas o vetas según el tipo de material) que pueden ser horizontales para buzamientos menores de 25°, inclinados entre 25° y 45° o verticales cuando supera los 45° (Moreno, 2011). Los sistemas más utilizados en Colombia son:

- Cámaras y pilares: el material es minado en galerías (cámaras) dejando pilares (columnas) de roca como soporte natural del techo. Las dimensiones y la disposición espacial de ambos dependerán de la resistencia geomecánica de la roca. En algunos casos el material de los pilares se recupera, aunque se considera de muy alto riesgo.
- Cuando hay varios niveles de galerías se conectan con tambores (pozos verticales) o galerías inclinadas que siguen el buzamiento (línea de máxima pendiente) de la estructura

mineralizada. Este método suele utilizarse en yacimientos con buzamientos variables entre 30° y 50° según la resistencia de la roca.

- Tajo largo con derrumbe dirigido: aplicado a yacimientos aproximadamente horizontales donde pueden desarrollarse frentes de explotación anchos y continuos que permiten el derrumbe del techo en las áreas ya minadas.
- Ensanche de tambores: este sistema suele emplearse en yacimientos con buzamientos entre 30° y 70°, espesores de la estructura mineralizada superiores a 1,5 m y respaldos con gran resistencia geo mecánica. Consiste en la formación de cámaras mediante la ampliación de tambores (pozos verticales) que comunican túneles horizontales (cruzadas) o inclinados cuya separación vertical depende del espesor del depósito.
- Escalones invertidos: utilizado en depósitos con buzamientos superiores a 50° donde a partir de una cruzada se construyen pozos inclinados que siguen el buzamiento de la estructura mineralizada, desde estos pozos se edifican los túneles diagonales que conectan con un túnel inferior de salida y que son ensanchados formando bloques escalonados al avanzar la explotación. La configuración obtenida permite extraer el carbón por gravedad a través de las tolvas formadas por la misma explotación.

Componente de 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.

- Subcomponentes de la minería a cielo abierto
 - Preparación: representa la remoción, mediante maquinaria pesada, de la vegetación y de la capa vegetal que cubre el área que será intervenida. Los volúmenes de suelo removido serán almacenados y protegidos en pilas con el objeto de utilizarlos posteriormente en las tareas de recuperación.
 - Arranque: para permitir la extracción del material estéril y de aquel económicamente importante se fragmenta con sistemas mecánicos (maquinaria pesada) o con voladura.
Cargue y transporte: la operación de extracción del material y su traslado hasta los lugares de beneficio, almacenamiento o disposición final se realiza con sistemas de carga que pueden incluir palas (mecánicas o eléctricas), cargadores, retroexcavadoras, cucharones, cangilones, dragalinas, grúas y equipos de empuje frontal entre otros. Mientras que para el transporte, se utilizan bandas transportadoras o volquetas.
 - Acopio: el material comercial es almacenado temporalmente en patios de acopio o silos antes de su venta o su paso a la planta de beneficio según sea el caso.

Disposición final de estériles: el material sin interés económico se deposita en áreas diseñadas geotécnica y ambientalmente para su acumulación definitiva.

- Disposición de residuos del proceso de beneficio o transformación: los residuos sólidos y líquidos, llamados colas, resultantes de procesos de beneficio y transformación requieren tratamiento químico y físico antes de su liberación al ambiente para garantizar el mínimo de impactos.
 - Cierre de operaciones.
 - Rehabilitación.
- Métodos de extracción a cielo abierto más usados en Colombia
 - Tajo abierto: consiste en la conformación de bancos de extracción que siguen la dirección y el buzamiento del cuerpo mineralizado generando excavaciones profundas. La extracción del estéril se realiza por medios mecánicos o voladuras, y suele ser común en la minería del carbón, el hierro, el níquel y los materiales de construcción (MME & MMA, 2002).
 - Minería de cajón o descubiertas: aplicable, en especial, a depósitos sedimentarios con buzamientos menores a 10°, poco espesor, grandes reservas y alta relación de descapote, que permiten la conformación de dos bancos, uno superior de estéril y otro inferior con el cuerpo mineral. Tiene como característica deseable que la misma excavación sirve como botadero de estéril. Además, aplicable al carbón.
 - Minería de contorno: se expone en superficie el depósito empujando el estéril sobre la ladera para lograr una extracción económica y rápida. Se utilizan palas hidráulicas, retroexcavadoras, buldóceros o cargadores. Muy usada en materiales de construcción.
 - Métodos mixtos: definen las operaciones que han excedido la posibilidad económica y financiera de continuar a cielo abierto y deben iniciar actividades subterráneas. Por ejemplo, cuando la minería de contorno se utiliza como actividad extractiva preliminar para dar acceso al depósito que será enfrentado por vía subterránea. Puede aplicarse en carbón y minerales industriales.
 - Minería de aluvión: comprende la extracción de materiales de arrastre y depósitos aluviales de uso común en el minado de materiales de construcción como arenas o gravas y metales preciosos como oro, plata y platino. La extracción puede realizarse por métodos hidráulicos mediante la inyección de agua a presión que sirve para arrancar el material y transportarlo a las áreas de beneficio y transformación. También puede utilizarse el sistema de dragado que utiliza una plataforma flotante que cuenta con sistemas de arranque del material del lecho aluvial.

9.5 Componente de almacenamiento temporal

La preparación del material para beneficio, venta o transbordos se realiza en patios de acopio o silos cuyas características están en función de la calidad del material, las vías internas, el volumen, el tiempo de almacenamiento, las especificaciones del terreno, el equipo de cargue y descargue disponible, el control de emisiones de polvo, el sistema de drenaje y la infraestructura (oficinas, talleres y otros).

Estos acopios pueden ser locales para almacenamiento de material transportado por vías terciarias que serán transbordados a camiones con mayor capacidad o ser nodos de integración intermodal que permiten el paso de carretero a fluvial, ferroviario o marítimo.

9.6 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, ferróníquel, 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.

Modo aéreo. Por los menores tiempos de viaje ofreciendo las mejores condiciones de seguridad se utilizan helicópteros y avionetas para movilizar productos mineros con gran valor unitario, que solventa el alto costo del servicio, y volúmenes pequeños como los metales preciosos, y piedras preciosas o semi preciosas, hasta las ciudades principales o los aeropuertos internacionales para su exportación.

Modo carretero. Utilizado en el transporte de materiales con bajo valor unitario que requieren el desplazamiento de grandes volúmenes. Se considera un modo flexible en cuanto a tiempos de entrega y volúmenes transportables; permite fácil acceso a los puntos de cargue y descargue en los centros de consumo, distribución o exportación; presenta mayor grado de inseguridad física y ambiental que el anterior y; su costo unitario es menor que el modo aéreo pero mayor que el fluvial y el ferroviario.

La calidad del transporte en términos de tiempo de viaje, costos y confiabilidad está en función de las características técnicas de la vía: especificaciones técnicas de la banca, obras de drenaje, estabilidad de taludes, pendientes, puentes y túneles.

- Transporte local. La extracción de los materiales mineros desde la mina hasta un acopio temporal se realiza a través de vías terciarias que obligan en algunos casos a utilizar camiones de menor capacidad que aquellos que pueden utilizar las vías principales.
- Transporte regional y nacional. La movilización se realiza por vías principales de la red nacional con mejores especificaciones técnicas que permiten el uso de vehículos con mayor capacidad.

Modo fluvial. Los tiempos de viaje son mayores que los anteriores pero los costos menores pues permite la movilización de grandes volúmenes en el mismo viaje. Su operación está en función del calado, el centro de transbordos de la mercancía al comienzo cuando recibe de camiones y al final del viaje cuando entrega a camiones o puertos.

Modo ferroviario. Representa los mayores tiempos de viaje y gran flexibilidad frente a los volúmenes a transportar.

Modo marítimo. La capacidad de transporte de materiales con bajo valor unitario incluye desde volúmenes menores hasta despachos masivos que incluyen la totalidad del buque carguero con tarifas notablemente más bajas que otras modalidades. Los costos y la frecuencia del envío determinan el uso de servicios de línea que ofrece frecuencias, rutas y tarifas establecidas o el fletamento de buques. En general, el modo marítimo está condicionado por las capacidades de las instalaciones y los equipos portuarios, los accesos marítimos y el tamaño del buque (MME & Incoplan S.A., 2011).

9.7 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:

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

- Subcomponentes del beneficio
 - Lavado. Eliminación de lodos y materiales orgánicos mediante agua a presión en zarandas o rociado de agua.
 - Conminución. Reducción de tamaño mediante trituración y molienda
 - Homogenización. Garantiza las condiciones de operación al unificar el tamaño de las partículas y la composición química de las mezclas preparadas, especialmente en la preparación de las materias primas requeridas en coquización, clinkerización y otras

industrias.

- Clasificación. Separación según tamaño de partículas mediante tamizados y sedimentación de partículas.
- Concentración. Separación del mineral con interés económico de aquellos estériles aprovechando las características físicas y fisicoquímicas con procesos como gravimetría, flotación y separación magnética.

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

- Subcomponentes de la transformación (MME & MMA, 2002b)

Pirometalurgia. Uso del calor para obtención y refinación de materiales mineros. Incluye la tostación, calcinación, coquización, fundición, cocción, secado y refinación.

Hidrometalurgia. Proceso de disolución selectiva del material con interés económico en algún reactivo lixivante para su posterior precipitación. En el caso del oro y la plata el lixivante más común es el cianuro. Su efectividad está en función del tamaño de partícula, la concentración, el tiempo de lixiviación, la mineralogía del depósito. Puede requerirse calcinación y tostado como pretratamiento.

9.8 Componente de gestión ambiental

Se denomina gestión ambiental el 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.

En el caso de la minería, los principales aspectos a tener en cuenta son:

- Estabilidad geotécnica
- Manejo de agua: aguas residuales, vertimientos, calidad del agua
- Calidad del aire (emisión de material particulado)
- Suelos: remoción del suelo y recuperación, reforestación, restauración del paisaje
- Hidrogeología
- Ruido
- Manejo de residuos
- Componente biótico: afectaciones a la flora y a la fauna

Se trata de un componente muy importante, no solo en términos de cumplir con la normativa establecida⁵, sino que también permite el desarrollo de la actividad minimizando los conflictos con poblaciones vecinas debido al deterioro del ambiente.

9.9 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 Generalmente un sistema de gestión ambiental se contempla de forma más amplia, incluyendo aspectos de salud ocupacional y seguridad industrial (sistema HSE) y la normativa relacionada. Sin embargo para el objeto de este análisis, en el componente "gestión ambiental" sólo se contempla la normativa ambiental y los daños que se puedan causar a este entorno. Los efectos relacionados con seguridad industrial y salud ocupacional se contemplan en el componente de recursos humanos, que sería el afectado por el incumplimiento de esa normatividad.

10. 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 altas a las utilizadas en las estimaciones oficiales.

Esto es aún más significativo si se tiene en cuenta que, como se señaló en el capítulo 6, 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 vio 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.

11. EVENTOS Y SUBEVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

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 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 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 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 y la variabilidad climática en la minería, se ha sistematizado el conocimiento disponible sobre la tipología de subeventos del cambio y la variabilidad climática que afectan al sector y las primeras reacciones que ha tenido éste en materia de adaptación.

De cruzar ambas informaciones, se ha definido el conjunto razonable de subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática 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.

11.1 Eventos asociados al cambio y la variabilidad climática

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (artículos 145 y 156), se establece la elaboración de un plan nacional de adaptación al cambio climático (PNACC), cuyo propósito será el de alistar a los diferentes sectores económicos del país ante las eventualidades del cambio climático (CC) y la variabilidad climática (VC). Dentro de las fases del PNACC, se encuentra la elaboración de la hoja de ruta para la formulación de los planes sectoriales y de adaptación que orientarán a los sectores y los territorios de la economía nacional a afrontar un clima cambiante.

Una de las etapas a llevar a cabo está relacionada con la gestión de la información para la sostenibilidad en el escenario de CC, que tiene como intención recopilar conocimiento respecto a los impactos probables, positivos y negativos, y como resultado esperado la identificación y caracterización de los impactos potenciales derivados de la VC y el sobre el sistema, en este caso el sistema minero.

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".

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).

Es evidente que el CC y la VC tienen tanto efectos sobre la productividad de un país como en el ambiente, con efectos de diferentes intensidades y duraciones y que deben ser analizados. Dentro de estos se cuentan la elevación del nivel del mar, las inundaciones, los cambios en los patrones estacionales, el incremento en la intensidad de las tormentas, el retroceso de los glaciares, la erosión en suelos, el cambio en arroyos y quebradas, la disminución del nivel de los lagos, el estrés y muerte de la vegetación por sequía, el incremento en el riesgo de incendios forestales, el daño de cosechas, entre otros.

11.2 Proyecciones de cambio climático y variabilidad climática

En reconocimiento al problema de CC, la Organización Meteorológica Mundial (WMO), y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA), crearon en 1988 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), cuyo objetivo es evaluar la información científica, técnica, económica y sociológica de los riesgos del CC inducido por causas antrópicas.

En 2014, dicho panel 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.

11.2.1 Proyecciones globales

La información consignada en los reportes del IPCC consiste en una consistente evaluación de las incertidumbres y riesgos asociados al CC, incluyendo aquellos relacionados a los recursos hidráulicos y sistema terrestre. En el capítulo titulado "Tema 2", se realiza una descripción de los cambios en el clima futuro, en términos de sus riesgos e impactos. Igualmente, integra información sobre los aspectos que controlan el clima futuro, las relaciones entre las emisiones y los cambios de temperatura, y los cambios proyectados para el sistema climático durante el siglo XXI.

Dentro de esta nueva publicación del Panel, se destacan los avances en los modelos climatológicos empleados, y se señala que la simulación de los patrones de lluvia a gran escala han mejorado desde el AR4; sin embargo, se indica "que los modelos continúan con un mejor desempeño para temperatura de superficie que para la precipitación" (IPCC, 2015).

De acuerdo con el reporte, existe una consistencia entre las proyecciones de los modelos climáticos revisados en AR4 y AR5 para los cambios en los patrones de gran escala, como se indicó anteriormente, sobre la magnitud de la incertidumbre, esta no ha cambiado significativamente, pero nuevos experimentos y estudios han llevado a una caracterización más completa y rigurosa de la incertidumbre para las proyecciones de largo plazo.

En conclusión, se podría afirmar que con la recopilación de los nuevos estudios y experimentos que ha revisado el AR5 se ha logrado mejorar las proyecciones; sin embargo, a pesar de los avances en la comprensión de las incertidumbres no ha sido posible reducirla significativamente debido a la falta de entendimiento de algunos procesos físicos y las variaciones probabilísticas de algunos resultados, entre otros.

11.2.1.1 Cambios proyectados en el sistema climático

“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).

11.2.1.2 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 consideran condiciones con muy alto grado de certeza, el calentamiento del Ártico, lo que disminuiría su área congelada y el consecuente 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).

11.2.1.3 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 serán uniformes, las regiones del pacífico ecuatorial junto con aquellas de latitudes media 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.

11.2.1.4 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 efecto de sumergencia, inundaciones y erosión a lo largo del siglo XXI, debido al aumento en el nivel del mar (IPCC, 2015, pág. 60).

11.2.2 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.

11.3 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.

Las modelaciones a escala global tienen todavía dificultades para representar adecuadamente las implicaciones en el ciclo hidrológico tanto a escala regional como a escala de cuenca. Así lo expresan en los informes de IPCC, en donde se indica 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 Capítulo 3, Fresh Water, pg. 235).

Por lo tanto, hay que tener presente que las proyecciones y los escenarios planteados por cualquiera de las agencias o estudios especializados en el tema son limitados y sus resultados deben ser entendidos como asistencia a la toma de decisión en política pública o sectorial, más que como predicciones del futuro. La aplicación o interpretación de los escenarios a regiones o cuencas específicas deben ser resultados de estudios más detallados.

La evidencia presentada por los diferentes escenarios de cambio climático indican que los sistemas físicos y biológicos en todos los continentes y océanos fueron afectados por recientes cambios climáticos, particularmente la temperatura regional se ha incrementado (Rosenzweig, C., y otros, 2007, pág. 81).

Dentro de los efectos sobre el ciclo hidrológico se reportan los cambios en la nieve, hielo y suelo congelado (permafrost); de igual manera, se reportan cambios en el tamaño y número de lagos glaciares e incremento en la escorrentía de ríos alimentados por estos (Burkett, V.R., y otros, 2014, pág. 183).

Desde la publicación del IPCC en 2007, se han producido dos reportes especiales presentados en 2012 y que luego fueron reforzados por los trabajos sobre el AR5 en 2014: el primero titulado “The Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation⁶” y el segundo titulado “Special Report on Managing the Risks of Extreme events and disasters to advance Climate Change Adaptation⁷” elaborados por los grupos de trabajo II y III, útiles para estimar los posibles fenómenos amenazantes para la minería.

En dichas publicaciones, los grupos de trabajo plantean las conexiones entre tres elementos básicos: detección del cambio climático o sus impactos, la atribución de aquellos impactos al incremento de los gases de efecto invernadero y la proyección de estos impactos en el siglo XXI. Finalmente, listan 34 fenómenos observados y atribuibles al cambio climático y sus proyecciones para el periodo 2050-2100 (Burkett, V.R., y otros, 2014, pág. 185).

Dentro de los impactos (subeventos en el lenguaje de esta metodología) que se han detectado como prácticamente seguros de que vayan a ocurrir y que son atribuibles con alto grado de certeza (prácticamente seguro) que ocurrirán 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 crecimiento 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 hidráulicos y la inestabilidad de las montañas, entendida como incremento en la remoción en masa. Sin embargo, este último se encuentra clasificado como de alta certeza, mientras la reducción en recursos hidráulicos se encuentra catalogada como no valorada, es decir, que no cuenta con una apreciación concreta debido, en gran medida, a 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).

⁶ Reporte especial sobre energías renovables y mitigación del cambio climático.

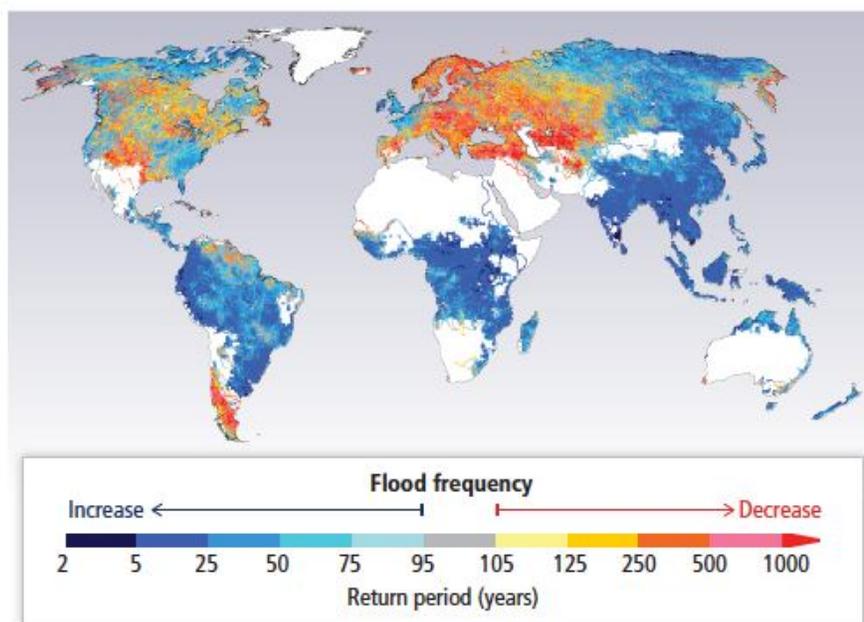
⁷ Reporte especial sobre la gestión del riesgo de eventos extremos y desastres para avanzar en la adaptación al cambio climático.

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 las sequías se estima que 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.

En la figura a continuación (Figura 11-1), (Jiménez Cisneros, B.E., y otros, 2014, pág. 248), se presentan las proyecciones de frecuencia de inundación a escala global, claramente se señala a Colombia como lugar sensible ante este tipo de fenómeno.

El incremento en la intensidad, y frecuencia de eventos hidrológicos extremos, como las inundaciones han sido atribuidos al CC, 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).

Figura 11-1 Proyección de la frecuencia de las inundaciones



Fuente: Jiménez Cisneros y otros, 2014, Pág. 248.

Los impactos y las proyecciones observadas del cambio climático sobre los recursos hidráulicos y su manejo son debidos principalmente al incremento en la temperatura, el nivel del agua del océano y los cambios en la precipitación local. Para una atribución robusta del cambio climático todas estas variables del cambio hidrológico deberían ser identificadas, con asignación de niveles de confianza.

12. SUBEVENTOS DEL CAMBIO Y LA 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 trata de un conjunto de subeventos que por ser probables en el país y significativos para la actividad minera se consideran que son en los que se debe focalizar el análisis. No obstante, se trata de una decisión operativa, que puede ser ampliada o reducida en cualquier estudio específico.

Ellos 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
- Efectos en el comportamiento volumétrico del suelo

A continuación se describen estos fenómenos.

12.1 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 ocurrirá. 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.

Por otro lado, las 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 muy común en las zonas de altitudes cercanas a los 2.500 m.s.n.m. o más. (Por ejemplo altiplano Cundiboyacense) en los meses de poca nubosidad, como diciembre y enero.

12.2 Heladas

Por otro lado, las 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. Fenómeno muy común en las zonas de altitudes cercanas a los 2500 m.s.n.m. o más. (Por ejemplo altiplano Cundiboyacense) en los meses de poca nubosidad, como diciembre y enero.

12.3 Vendavales

Cuando se presentan modificaciones en la temperatura y presión de los sistemas meteorológicos, es posible la presencia de vendavales, que se define 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.

12.4 Inundaciones

Como consecuencia de las fuertes lluvias y las crecientes torrenciales se podrían presentar las inundaciones, las cuales se producen por el desbordamiento del 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 de 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.

12.5 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 bienes como de pérdidas humanas.

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 crecimiento 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 intensidad y 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, podría alterar las precipitaciones de nieve a precipitaciones líquidas intensas, 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).

12.6 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, que es 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 considera que se presenta un comportamiento mixto, pero con tendencia al incremento 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).

12.7 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.

De acuerdo con el IPCC (IPCC Fresh Water Resources, 2014, p. 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 et al., 2011); sin embargo, es necesario tenerla en cuenta para las regiones proyectadas con disminución de precipitación y con intervenciones poco contraladas del subsuelo.

12.8 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.

12.9 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 12-1 Resumen Amenazas esperadas

Fenómeno	Cambio Esperado	Proyección
Ola de Calor	Incremento	Esperado con un 99 – 100 % de certeza
Heladas	Disminución	Esperado con un 99 – 100 % de certeza
Vendavales	Incremento	Esperado 60- 100 % de certeza
Inundaciones	No hay clara tendencia	Baja certeza
Remoción en masa y erosión	Incremento	Alta Certeza
Sequía	Incremento/disminución	Esperado 60- 100 % de certeza
Abatimiento Nivel Freático	Incremento/disminución	Baja certeza
Elevación nivel medio del mar	Incremento	Esperado con un 99 – 100 % de certeza
Efectos en el Comportamiento Volumétrico del suelo	No hay clara tendencia	Baja certeza

Fuente: IPCC, 2014, adaptado por ACON, miembro grupo INERCO, 2015.

13. EFECTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA SOBRE LA MINERÍA

Con el fin de caracterizar el efecto de los eventos y subeventos derivados del cambio y la variabilidad climática para el análisis de vulnerabilidad y riesgo de la actividad minera se recoge a continuación una breve reseña de la experiencia nacional internacional al respecto.

La industria extractiva es una de las más expuestas a los efectos físicos del cambio climático puesto que enfrenta decisiones importantes de inversión de capital a largo plazo en terrenos, infraestructura y equipos, todas estas sometidas de forma permanente a las condiciones climáticas. Aunque los riesgos no estén distribuidos geográficamente de manera uniforme siempre pesarán sobre la industria minera 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 que afectan la cadena de valor.

En este análisis se consideraron las particularidades de la minería colombiana que dieron lugar a una descripción sinóptica de las amenazas potenciales debidas al cambio climático y a la exacerbación de los fenómenos climáticos asociados a éste, en particular los relacionados con el fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENOS)/La Niña.

La industria de extracción 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, 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.

Con el objeto de caracterizar la relevancia de los subeventos climáticos (olas de calor, vendavales, aguaceros torrenciales, avenidas torrenciales, inundaciones, movimientos en masa y erosión, sequías y abatimiento del nivel freático) y las variaciones climáticas proyectadas (incremento de precipitaciones, disminución de precipitaciones y aumento de temperatura) identificados en el sub capítulo anterior, como relevantes para el análisis de la vulnerabilidad de la minería al cambio y la variabilidad climática, se analizan los efectos que éstos tienen para la minería, confirmando que se trata de una selección adecuada de subeventos relevantes a considerar en futuros análisis.

13.1 Incremento de precipitaciones

Para IDEAM (2015, pág. 15) los departamentos más afectados 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 ANM, se indica que el 52,7% de estos accidentes asociados con precipitaciones ocurrieron bajo el fenómeno de La Niña, el 21% en año 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.

13.1.1 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 el 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 debió trabajar de manera más lenta por el estado del tiempo. El menor 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 2,5 mil millones de dólares 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, Rio 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 elevando la amenaza para la producción y exigiendo 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 IDEAM (2015) como zonas con posibilidad de aumento de precipitaciones. Las principales afectaciones relacionadas serán inundación 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.

13.1.2 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 como aquellas de 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 así:

- **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 aquellas de 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 desea utilizarse para el transporte.

13.1.3 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.

13.2 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 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 que permanecerá desértica. 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 metros cúbicos 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 metros 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 reportado en diferentes áreas del mundo está quedando registrada en los grandes cuerpos de agua 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.

13.3 Aumento de temperatura

De acuerdo con las cifras ofrecidas por 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 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, siendo 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 podrá 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.

14. TIPOLOGÍA DE IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INDUSTRIA MINERA

Las amenazas que suponen los subeventos constituyen potenciales impactos sobre la actividad. A continuación se realiza una breve identificación de esa tipología de impactos, basada en la experiencia nacional e internacional.

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 altera el desarrollo de diferentes sectores, tales como 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.

Los efectos producidos por eventos extremos no siempre son fáciles de determinar y con el tiempo puede interactuar entre sí originando eventos complejos de segundo orden con mayor grado de dificultad en anticipación y gestión, en especial en ausencia de experiencia, previsión y conocimiento del contexto local. Un ejemplo de estos impactos secundarios puede ser la afectación al personal de las minas y sus entornos por vectores alóctonos debido al incremento en la temperatura.

La adaptación de algunos de estos efectos requiere la integración de la industria con las comunidades circundantes y, en consecuencia, 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). Como ejemplo puede citarse la construcción de obras de almacenamiento de agua potable o el adecuado control de inundaciones.

Como base de análisis de los principales impactos asociados al cambio climático sobre el negocio minero se propone la siguiente lista compendiada que agrupa en 11 categorías los impactos más relevantes esperados ante variaciones climáticas.

14.1 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 contaminación microbiana de las fuentes hídricas y 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.

14.2 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.
- Aumento de emisión de gases por combustión espontánea de las pilas de carbón.
- Erosión de las pilas de almacenamiento.
- Percolación de drenajes ácidos por humectación del suelo.
- Rompimiento de tanques de sedimentación y almacenamiento de colas causando vertimientos contaminados a las fuentes naturales.

14.3 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.

14.4 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 en 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.

14.5 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).

14.6 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 arranque y 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.

14.7 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.
- Incremento en el consumo de energía eléctrica

14.8 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.
- Baja recuperación de reservas probadas.
- 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.

14.9 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.
- Disminución de los ingresos debido a la menor recepción de regalías afectando la inversión en infraestructura pública.

14.10 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.
- Mayor interés de las empresas mineras de trabajar con la comunidad.
- Pérdida potencial de empleo por a la falta de acceso seguro a sitios.

14.11 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 disponibilidad de 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.

14.12 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 debida 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 períodos 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 beneficiadas 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).

15. SÍNTESIS DE LOS EVENTOS AMENAZANTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO A LA MINERÍA EN COLOMBIA

Como podrá comprobar en los capítulos siguientes 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. En este estudio como se ha propuesto metodológicamente y, según lo expuesto en el Plan Nacional de Ordenamiento Minero -PNOM (UPME, 2014, pág. 50) se considera que la escala adecuada es la de sistema minero para un área minera determinada.

El punto de partida de esa identificación de la vulnerabilidad del sector, entonces, es identificar la posibilidad de que determinados subeventos producidos por el cambio y la variabilidad climática se den en el área en cuestión. Metodológicamente entonces, lo que se propone al identificar los subeventos es que éstos sean considerados como punto de partida del análisis, porque son relevantes desde la perspectiva nacional así como sectorial. En síntesis ellos son:

Tabla 15-1 Resumen Eventos amenazantes relevantes para el análisis de la vulnerabilidad del sector minero al cambio y la variabilidad climática

EVENTO	SUBEVENTO
INCREMENTO DE PRECIPITACIONES	1-Inundaciones
	2-Remoción en Masa y Erosión
	3-Efectos en el Comportamiento Volumétrico del Suelo
DISMINUCIÓN DE PRECIPITACIONES	4-Sequía
	5-Abatimiento del Nivel Freático
AUMENTO DE TEMPERATURA	Sequía
	6-Elevación del Nivel del Mar
VARIABILIDAD CLIMÁTICA	Inundaciones
	7-Olas Calor
	8-Heladas
	9-Vendavales

Fuente: ACON – Miembro Grupo INERCO, 2015

En la anterior tabla, se muestran los 9 subeventos explicados en el capítulo 12, divididos según el evento climático que los ocasiona. Por esta razón se encuentran algunos subeventos repetidos, ya que por ejemplo las inundaciones pueden ser causadas por el aumento de la precipitación debido al cambio climático o por una avenida torrencial causada por la variabilidad climática.

16. 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.

Como se ha señalado, las amenazas a los sistemas naturales o sociales asociadas con el cambio climático se derivan de eventos secundarios causados por los efectos centrales en la modificación del clima, o de sus variables centrales, que son temperatura y precipitaciones, sumado obviamente a muchos otros factores, como se ha ilustrado antes en el capítulo 6, con el efecto de modificación de la escorrentía.

La identificación de subeventos implica en sí mismo varios pasos:

- Identificar los eventos derivadas del cambio climático que son pertinentes a priori para el análisis de vulnerabilidad y riesgo del sistema minero, es decir, en principio modificación de la temperatura y las precipitaciones para cada uno de los escenarios estándares. En este sentido tanto los trabajos del IPCC, y en particular todos los relativos a su Quinto Informe de Evaluación, así como las comunicaciones Nacionales de Colombia constituyen una referencia, así como la literatura y el estado del arte en análisis de vulnerabilidad y riesgo minero al cambio climático a nivel internacional.
- Verificar si hay datos sobre los posibles subeventos naturales derivados del cambio climático en los escenarios futuros que provocan esas amenazas para las áreas geográficas de análisis. En este sentido puede suceder que:
 - Estén ya identificadas para las áreas geográficas de interés.
 - No estén identificadas.
 - Estén identificadas para un área geográfica mayor que el área de estudio y a una escala de baja resolución, con lo que resulte asegurar si la amenaza se materializará y con la misma intensidad en el área de estudio que en el área de referencia.
 - Estén identificadas las amenazas pero no su intensidad y variabilidad en función de la modificación de las variables climáticas centrales.
 - Una combinación de todo lo anterior.
- Determinar la existencia e intensidad de los eventos y subeventos en los diferentes escenarios temporales de cambio climático para el área geográfica de análisis.

Tal como se ha visto en revisión sinóptica del estado de la cuestión respecto al análisis de vulnerabilidad a escala nacional (véase capítulo 6), la situación más recurrente es que, o bien no haya estimaciones completas de los diversos subeventos amenazantes pertinentes a la escala geográfica de referencia e incluso de un área mayor a la de referencia, o haya datos dispersos y poco sistemáticos, al menos en los próximos años.

Por tanto, se debe proponer una metodología que parta por sobrepasar ese obstáculo aunque sea de manera provisional, en el entendido que la identificación de eventos naturales genéricos derivados del cambio climático en el territorio nacional es una responsabilidad que está por encima de los planes sectoriales, tanto por las razones funcionales como por razones prácticas. Prácticas, porque exigir, por ejemplo, que cada estimación de riesgos de un área minera desarrolle por y para sí misma un modelo hidrológico y otro de suelo para remociones en masa parece ser impracticable.

En este sentido, y de manera auxiliar al análisis de riesgo sectorial, en esta metodología se propone operar del siguiente modo, en un escenario en el cual de lo que se dispone es 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) 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.
- Identificar para el área de estudio las estimaciones de los posibles subeventos derivados de las modificaciones de precipitaciones y temperatura, bien en las modelaciones nacionales o regionales. Si estas estuviesen disponibles y fuesen coherentes con los modelos nacional o regional 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 fue este en ninguno de ellos.
- En caso de no darse el caso anterior, lo que resulta lo más probable, entonces, derivar de 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, las posibilidades de que los subeventos asociados a esas modificaciones se den en el área de estudio para cada uno de los escenarios previstos. 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, que es 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 en general bastante 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 a sufrir 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, etcétera. 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 pudiera versar como sigue, 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 la que la ha 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.

17. LA 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.

Inicialmente parece del todo razonable la recopilación de mapas por parte del IDEAM, IGAC, oficinas de riesgo y atención de desastres, etc., que caractericen el comportamiento del territorio a lo largo de la historia, es decir, mapas de inundaciones, de temperaturas medias, mínimas y máximas, susceptibilidad a la erosión, amenaza por deslizamiento, etc.

A continuación, se presentan algunas consideraciones de ayuda para este propósito para algunos de los subeventos para los cuales existen cálculos de susceptibilidad o propensión a nivel nacional que son de ayuda, inundaciones, remoción en masa, sequía. En el resto de casos se trata de un trabajo experto y cualitativo ad-hoc.

- Inundaciones

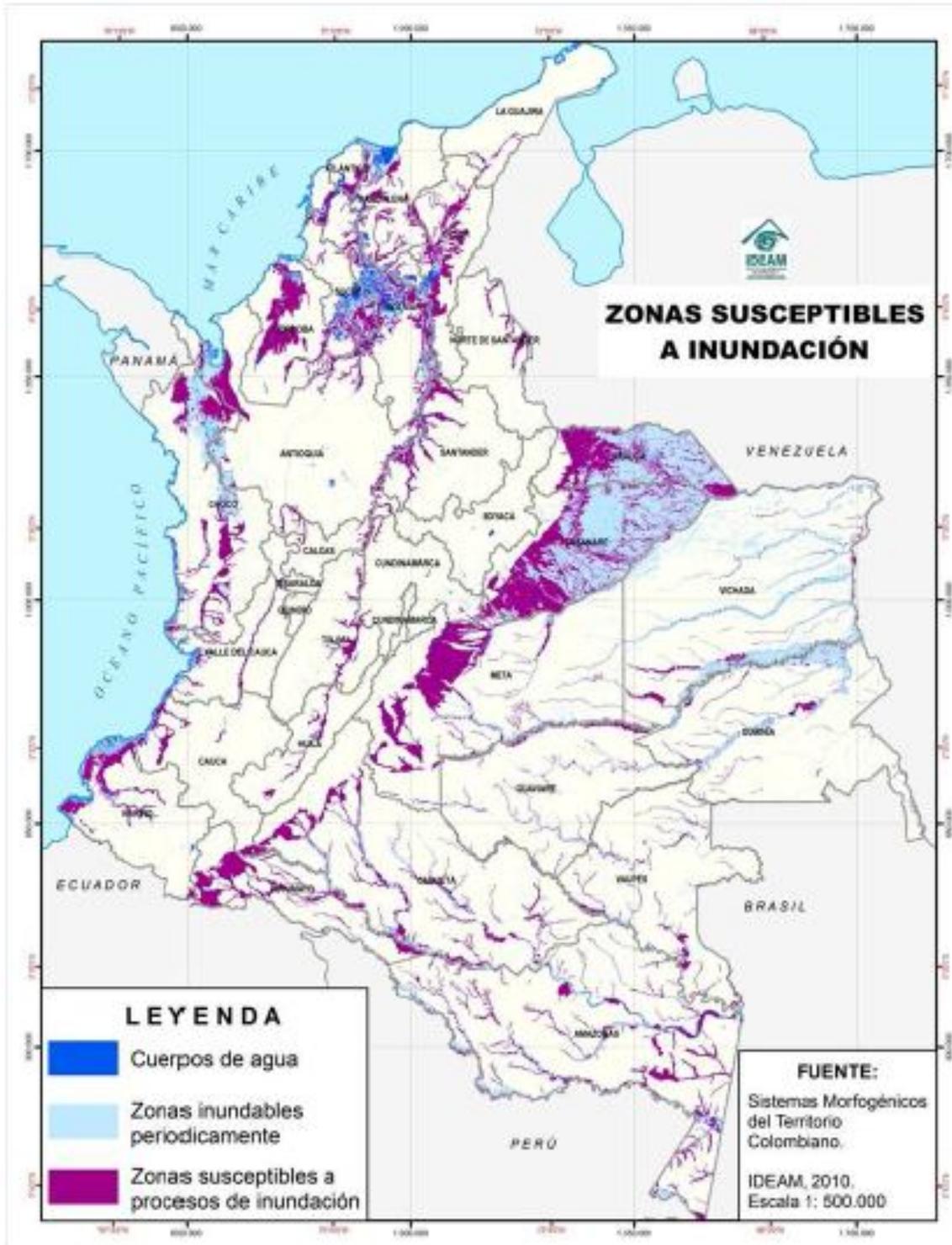
Con respecto a las inundaciones, el IDEAM dentro del estudio nacional del agua 2010 elaboró mapas de inundación, clasificando el territorio Nacional en zonas inundables periódicamente, zonas susceptibles a procesos de inundación y zonas no inundables. Adicionalmente, se cuenta con los escenarios elaborados en la tercera comunicación, en donde se señalan las zonas del país en donde se esperan aumentos, o disminuciones en la precipitación para el siglo XXI.

La combinación de estos dos mapas sugiere 9 tipos de clasificación de amenaza por inundación a saber (aumentos de precipitación, se consideran alteraciones por encima del 10 %, condición

neutral, alteraciones de +/- 10 %, y la condición de disminución de la precipitación, se consideran disminuciones mayores a -10 %):

- Zona Inundable periódicamente + Aumento de Precipitación = Amenaza Alta-Alta.
- Zona Inundable periódicamente + Precipitación neutra = Amenaza Alta-Media.
- Zona Inundable periódicamente + Disminución de Precipitación = Amenaza Alta-Baja.
- Zona susceptible a inundación + Aumento de Precipitación = Amenaza Media-Alta.
- Zona susceptible a inundación + Precipitación neutra = Amenaza Media-Media.
- Zona susceptible a inundación + Disminución de Precipitación = Amenaza Media-Baja.
- Zona no inundable + Aumento de Precipitación = Amenaza Baja-Alta.
- Zona no inundable + Precipitación neutra = Amenaza Baja-Media.
- Zona no inundable + Disminución de Precipitación = Amenaza Baja-Baja.

Figura 17-1 Zonas susceptibles de Inundación



Fuente: IDEAM, 2010.

- Movimientos en masa y erosión

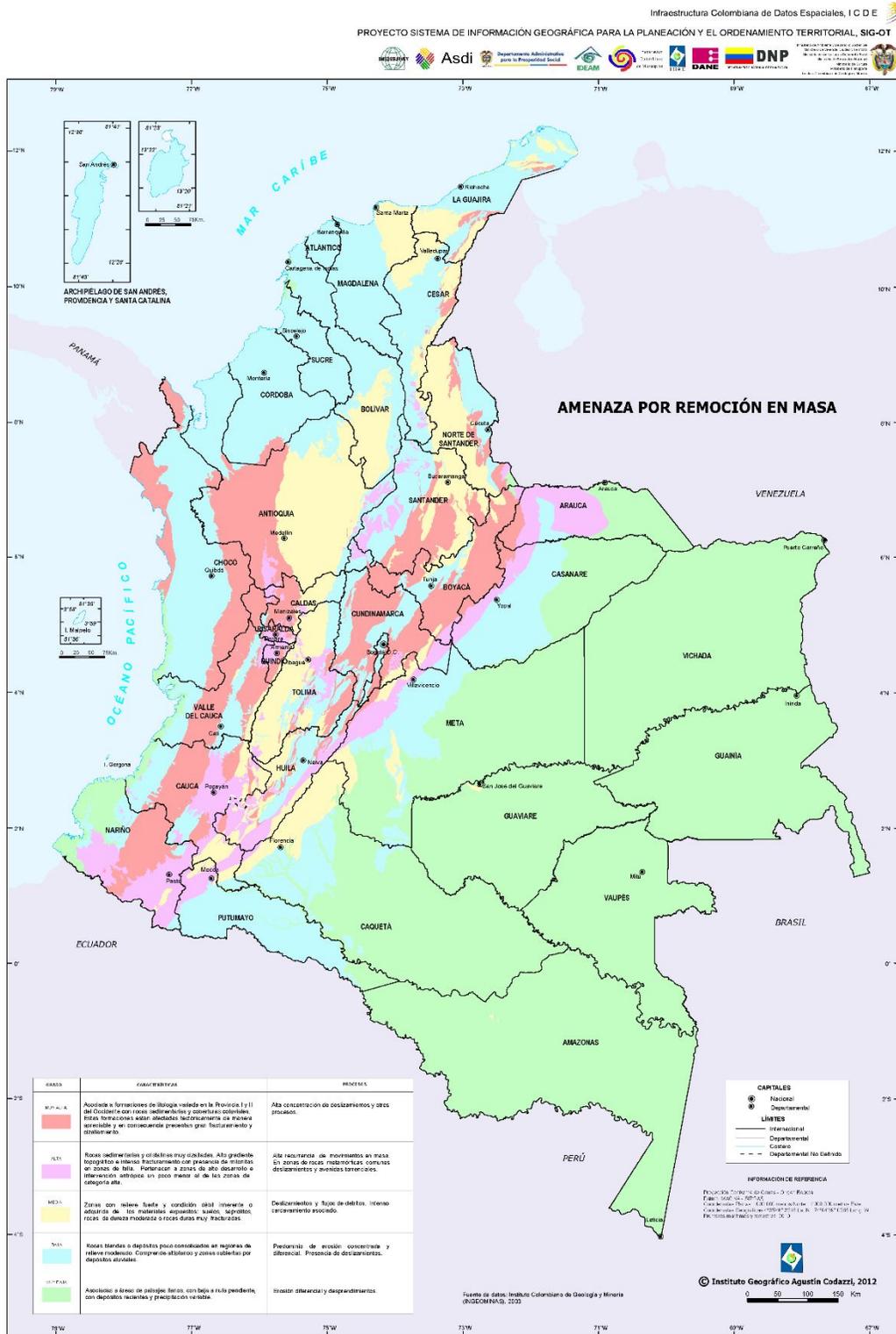
Con respecto a la remoción en masa y erosión, el IDEAM y el IGAC, dentro de la elaboración del atlas de potencial hidroenergético, han publicado una serie de mapas dentro de los cuales se encuentran los de remoción en masa y erosión. Para el primero, el país se ha clasificado en 5 grupos, muy alto, alto, medio bajo y muy bajo. Para la segunda, el país ha sido dividido en 5 grupos de erosión: Muy Severa, Severa, Moderada, Ligera y sin evidencia de erosión.

Para el caso de la remoción en masa, esta se potencia, entre otros, con el aumento de días consecutivos de precipitación y el aumento de la intensidad de las lluvias, condición que aparentemente ocurriría bajo las nuevas condiciones de cambio climático. Por tal motivo, se acude nuevamente a los escenarios elaborados por el IDEAM en la tercera comunicación, que combinados con el mapa anteriormente indicado, califican y clasifican el territorio Nacional ante la amenaza de remoción en masa:

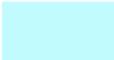
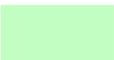
- Amenaza alta-alta = Aumento de Precipitación + grupo de amenaza por remoción muy alto o alto.
- Amenaza alta-media = precipitación media + grupo de amenaza por remoción muy alto o alto.
- Amenaza alta-baja = disminución de la precipitación + grupo de amenaza por remoción muy alto o alto.
- Amenaza media-alta = Aumento de Precipitación + grupo de amenaza por remoción medio.
- Amenaza media-media = precipitación media + grupo de amenaza por remoción medio.
- Amenaza media-baja = disminución de la precipitación + grupo de amenaza por remoción medio.
- Amenaza baja-alta = Aumento de Precipitación + grupo de amenaza por remoción muy bajo o bajo.
- Amenaza baja-media = precipitación media + grupo de amenaza por remoción muy bajo o bajo.
- Amenaza baja-baja = disminución de la precipitación + grupo de amenaza por remoción muy bajo o bajo.

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

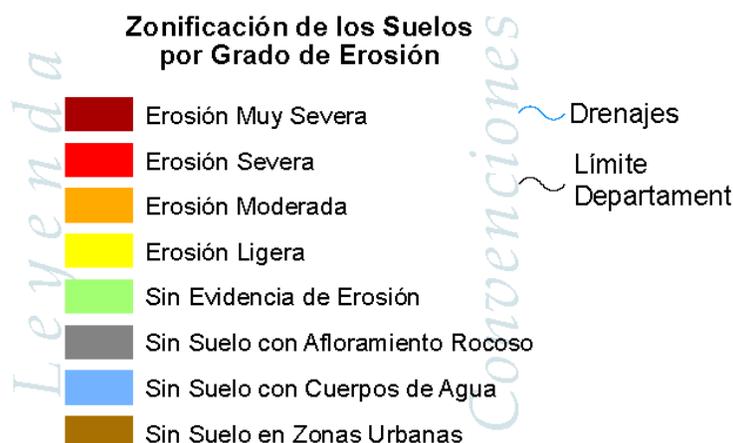
Figura 17-2 Amenaza por remoción en masa



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

GRADO	CARACTERÍSTICAS	PROCESOS
MUY ALTA 	Asociada a formaciones de litología variada en la Provincia I y II del Occidente con rocas sedimentarias y coberturas coluviales. Estas formaciones están afectadas tectónicamente de manera apreciable y en consecuencia presentan gran fracturamiento y cizallamiento.	Alta concentración de deslizamientos y otros procesos.
ALTA 	Rocas sedimentarias y cristalinas muy cizalladas. Alto gradiente topográfico e intenso fracturamiento con presencia de milonitas en zonas de falla. Pertenecen a zonas de alto desarrollo e intervención antrópica un poco menor al de las zonas de categoría alta.	Alta recurrencia de movimientos en masa. En zonas de rocas metamórficas comunes deslizamientos y avenidas torrenciales.
MEDIA 	Zonas con relieve fuerte y condición débil inherente o adquirida de los materiales expuestos: suelos, saprolitos, rocas de dureza moderada o rocas duras muy fracturadas.	Deslizamientos y flujos de detritos. Intenso carcavamiento asociado.
BAJA 	Rocas blandas o depósitos poco consolidados en regiones de relieve moderado. Comprende altiplanos y zonas cubiertas por depósitos aluviales.	Predominio de erosión concentrada y diferencial. Presencia de deslizamientos.
MUY BAJA 	Asociadas a áreas de paisajes llanos, con baja a nula pendiente, con depósitos recientes y precipitación variable.	Erosión diferencial y desprendimientos.

Fuente: SIGOT, 2012



Fuente: SIAC, 2010-2011

- Sequías de déficit de lluvias

Los eventos de sequía están directamente relacionados con las disminuciones de precipitación. Para medir la susceptibilidad del territorio ante este tipo de evento, la Organización Meteorológica Mundial desarrolló un índice llamado SPI (Standard Precipitation Index) que permite determinar aproximadamente este efecto y que ha sido adoptado por el IDEAM para calificar el territorio ante esta amenaza.

Las categorías del SPI se clasifican en 7 grupos, que van desde extremadamente húmedo hasta extremadamente seco, los grupos se presentan a continuación:

Tabla 17-1 Categorías de SPI

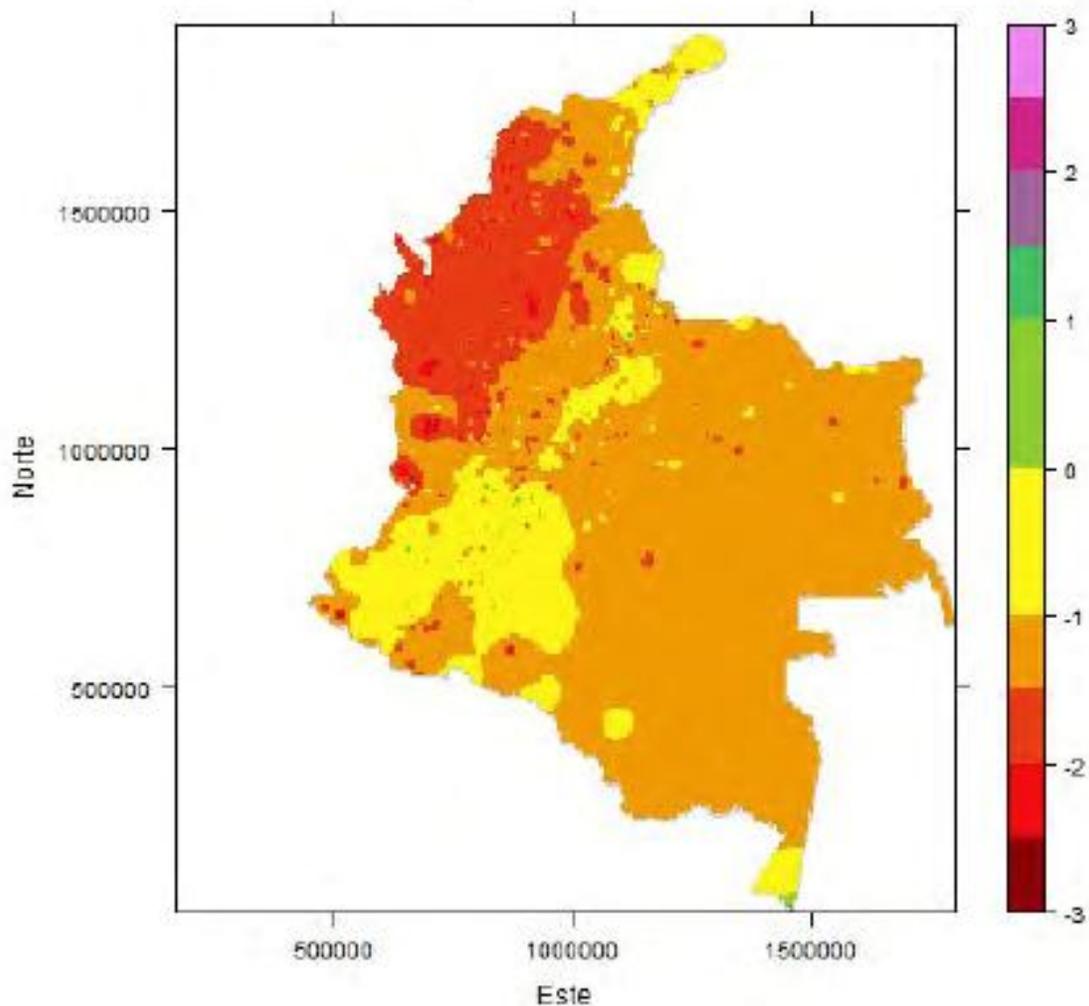
Rango SPI	Categoría
> 2,0	Extremadamente húmedo
1,5 – 1,99	Muy húmedo
1,0 – 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 – 0,99	Condiciones normales
-1,0 - -1,49	Moderadamente seco
-1,5 - -1,99	Muy seco
< -2,00	Extremadamente seco

Fuente: Organización Meteorológica Mundial, 2012

En la figura a continuación, se presentan las condiciones de sequía con el SPI, empleando una precipitación acumulada a tres meses (ENA, 2014 pág. 94). Con esta figura y los escenarios de temperatura desarrollados por el IDEAM para el siglo XXI se construyen los indicadores de susceptibilidad del territorio ante sequía con las siguientes clasificaciones:

- Amenaza alta-alta = Disminución de Precipitación + SPI menor a -1,00.
- Amenaza alta-media = Disminución de Precipitación + SPI entre -0,99 y 0,99.
- Amenaza alta-baja = Disminución de la precipitación + SPI mayor a 1,00.
- Amenaza media-alta = Precipitación neutra + SPI menor a -1,00.
- Amenaza media-media = Precipitación neutra + SPI entre -0,99 y 0,99.
- Amenaza media-baja = Precipitación neutra + SPI mayor a 1,00.
- Amenaza baja-alta = Aumento de Precipitación + SPI menor a -1,00.
- Amenaza baja-media = Aumento de Precipitación + SPI entre -0,99 y 0,99.
- Amenaza baja-baja = Aumento de Precipitación + SPI mayor a 1,00.

Figura 17-4 Condiciones de sequía
IDW-SPI 3 meses1995-03-01



Fuente: IDEAM, 2014

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

Otro elemento recomendado en el camino a identificar los posibles futuros subeventos en el área de análisis y recurrente en las metodologías de evaluación de vulnerabilidad y riesgo es revisar el comportamiento histórico y al 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.

En Colombia, el IDEAM y en algunos casos las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) son las encargadas de registrar las variables hidroclimatológicas, cuyas series describen el clima de la cuenca o región. Adicionalmente, el artículo 214 de la Ley 1450 de 2011 dispone que en el marco de sus competencias, le corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible la formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas Hidrográficas (POMCA). El Decreto 1640 de 2012 establece que es función de las CAR además la elaboración de los POMCAs de su jurisdicción, la coordinación de la ejecución, seguimiento y evaluación de los mismos.

Por otra parte, las oficinas de gestión del riesgo de los municipios y a nivel nacional la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres son las encargadas de inventariar los eventos naturales presentados en una región, como inundaciones, incendios forestales, remociones en masa, etc. Ante las alteraciones ocasionadas por el cambio climático, estas amenazas se ven potenciadas, tanto en un incremento en su intensidad, como duración y frecuencia, por lo tanto,

es importante conocer de antemano las amenazas naturales que se presentan frecuentemente en la región, así como sus posibles consecuencias.

Con el fin de utilizar de la mejor manera posible los datos históricos de una serie de tiempo que caracterice los subeventos amenazantes para un territorio, por ejemplo inundaciones o remoción en masa, es esencial revisar de forma crítica la exactitud de los mismos y evaluar, por lo menos de forma cualitativa, los cambios temporales en las series debidos diversas influencias y el impacto de estas sobre los datos históricos.

La consistencia y precisión de los datos con frecuencia suele ser un problema importante en muchas series. El reconocimiento y la interpretación de posibles tendencias en los datos recaen fundamentalmente en la disponibilidad de información espacial suficiente como para permitir distinguir los efectos de variabilidad de clima.

Todas las técnicas de análisis y modelación de series de tiempo realizan la suposición de que los datos son estacionarios. Si esta hipótesis es válida, el procedimiento normalmente recomendado en la literatura para el análisis de estas series es el de estudiar los datos históricos de tal forma que reflejen las condiciones naturales de la cuenca o área minera. Esto incluye la corrección de datos históricos por inconsistencias debidas a errores aleatorios y sistemáticos, el llenado de datos faltantes, y en algunos casos la extensión de datos o la disminución de los mismos para que reflejen condiciones reales.

Los errores inherentes a los datos meteorológicos e hidrológicos pueden ser divididos en dos categorías: errores aleatorios y errores sistemáticos. Los errores aleatorios se encuentran más o menos simétricamente distribuidos alrededor de cero y no dependen de la variable que se está midiendo. Algunas veces los errores aleatorios conllevan a sobreestimación del parámetro mientras que otras veces conducen a subestimación del mismo. Sin embargo, en promedio, estos errores se cancelan unos con otros al hacer múltiples mediciones.

De otra parte, los errores sistemáticos se distribuyen de forma asimétrica alrededor de cero, y en promedio estos errores tienden a sesgar los valores medidos ya sea por encima o por debajo de los valores reales. Las dos principales causas de errores sistemáticos son la descalibración de los aparatos de medición y la influencia de factores persistentes no contabilizados en la medición.

Para identificar estos tipos de errores se han propuesto en la literatura métodos de control de calidad de la información, los cuales de forma amplia pueden clasificarse en cuatro categorías: verificación de la credibilidad de la información, verificación por posibles contradicciones en los datos, verificación acerca de la continuidad espacial y temporal de los datos y finalmente la utilización de ecuaciones de diagnóstico.

19. IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS AL SISTEMA MINERO

Una vez se han establecido los posibles subeventos futuros derivados del cambio y la variabilidad climática de acuerdo al capítulo 16, en 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.

19.1 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 como puede ser el de “componente extractivo, caracterizado como de explotación subterránea con tecnologías x o y, con las características h y d”, que está 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, V. et al., 2013b, pág. 55).

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.

Esta es una valoración cualitativa que se nutre de toda la información procesada, y del sentido común, y debería ser sujeto de procesos participativos. Su finalidad práctica es determinar que es plausible afirmar que en el área de análisis en cuestión un evento, remoción en masa, puede afectar al componente del sistema minero componente extractivo, caracterizado como de explotación subterránea con tecnologías x o y, con las características h y d, con una intensidad dada, alta, media o baja.

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 se observa la construcción de esta afirmación supone un conocimiento experto capaz de relacionar el fenómeno de la inundación con una tecnología extractiva específica en un contexto territorial específico. Ello da lugar nuevamente a una afirmación de plausibilidad de ocurrencia de un evento, es decir, se afirma que según los datos es razonable pensar que el evento en cuestión pudiera ocurrir debido a las condiciones estructurales de la situación.

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.

En este primer paso de cruce entre los subeventos que fueron identificados como pertinentes para el área de análisis y los componentes del sistema minero específico da como resultado a lo que se ha denominado a estos efectos las amenazas directas de los subeventos del cambio y la variabilidad climática sobre el sistema minero.

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.

19.2 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 ésta 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, supone 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 sea altamente probable 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.

En primer lugar, es necesario ubicar la zona de análisis geográficamente mediante la identificación del o los municipios en el (los) cual (es) se encuentra (n) el sistema minero y sus zonas limítrofes.

Se debe hacer un análisis demográfico de la zona, teniendo en cuenta no sólo el municipio en el cual se encuentra el sistema minero, sino el departamento y la nación. Esto implica identificar el número de habitantes del municipio (o los municipios), distinguiendo entre la población rural y urbana. Se debe analizar la evolución demográfica de los últimos 10 años, para saber si la población del (o los) municipio(s) tiene una tendencia al alza o a la disminución. Se debe realizar el mismo análisis para el (los) departamento(s), y comparar las tendencias observadas y lo que esto pueda significar. Adicionalmente, se analizan las necesidades básicas insatisfechas de la población.

Esta información puede ser hallada en la página web del DANE (2005a), donde se encuentran las proyecciones demográficas a partir del último censo realizado (2005) hasta 2020. En las páginas web de los municipios en general hay un rubro donde están los indicadores poblacionales de los municipios. Es recomendable comparar los datos que allí se encuentren con los del DANE; sin embargo, es mejor usar los datos del DANE, ya que es la fuente oficial a nivel nacional, y sus datos son comparables, con los de otros municipios y departamentos. La base de datos de necesidades básicas insatisfechas por municipios también se encuentra disponible en la página web del DANE.

Se prosigue a realizar un análisis de los servicios públicos y sociales presentes en la región. Se debe tener en cuenta: acueducto y alcantarillado, energía eléctrica, servicio de gas domiciliario y telefonía fija y móvil. En la medida en que sea posible hacer la distinción de la prestación de estos servicios en zona urbana y rural, es mejor.

En cuanto a los servicios sociales, se analiza principalmente salud y educación. En salud, se busca saber el número de centros médicos y/u hospitales presentes en el municipio, así como el tipo de atención que prestan (primer, segundo, tercer o cuarto nivel). También es importante conocer el

porcentaje de la población que se encuentra afiliado a algún régimen de salud, y si es posible distinguir entre regímenes (contributivo, subsidiado o especial). Esto puede brindar información sobre las condiciones socioeconómicas de la población, ya que si una gran mayoría se encuentra afiliada al régimen subsidiado, por ejemplo, esto significaría que sus ingresos son bajos. Mientras que si una gran mayoría pertenece al régimen contributivo, querrá decir que trabajan y tienen ingresos un nivel de ingresos suficiente.

Para el servicio de educación se busca saber el número de instituciones educativas en la zona, si son de nivel primario, secundario o superior. Igualmente, conocer la tasa de cobertura en cuanto a educación primaria y secundaria, así como la tasa de analfabetismo en mayores de 15 años. El nivel educativo de la población permitirá estimar su capacidad para entender y enfrentar problemáticas complejas, como lo es el cambio climático.

La información sobre la prestación de servicios públicos y sociales deberá consultarse en los Planes de Desarrollo Municipal de los municipios que se encuentren en la zona de estudio. Allí generalmente, hay un capítulo de diagnóstico o línea base, donde se encuentra información sobre el estado de esos servicios. Esta información puede ser completada con otros estudios que se realicen por secretarías departamentales o a nivel municipal. Estos pueden hallarse en las páginas web de municipios o departamentos. En el caso de la Gobernación de Antioquia por ejemplo, existe el Anuario Estadístico Departamental donde se encuentra información sobre aspectos económicos, de salud, educación, empleo, turismo, entre otros.

Luego se prosigue a la caracterización económica de la zona, donde se tiene en cuenta los tres sectores de la economía. El objetivo es conocer en qué se basa la economía de la zona, si se depende principalmente de actividades del sector primario (actividades agropecuarias, mineras, silvicultura, pesca), del sector secundario (industria) o terciario (bienes y servicios). Esto permite estimar el nivel de riesgo al que se encuentra expuesta la economía de la zona. Por ejemplo, si se depende mayoritariamente de actividades del sector primario, que se desarrollan al aire libre y que están sometidas a las variaciones del clima, el cambio climático representa un riesgo alto para estas actividades que podrían verse seriamente amenazadas. Esto puede a su vez desencadenar problemáticas sociales, como el desempleo, manifestaciones, delincuencia, entre otras, que pueden amenazar la actividad minera.

De igual forma, se estudia el mercado laboral, para conocer la población en edad de trabajar, la población económicamente activa, el porcentaje de ocupados y desempleados, y los sectores que generan mayor número de empleos. En línea con lo anterior, esto permite estimar el nivel de riesgo que pueda traer el cambio climático. Una sociedad donde hay altos porcentajes de desempleo tiende a tener mayores conflictos sociales que el cambio climático podría profundizar, lo que a su vez sería un riesgo para la actividad minera.

La información económica puede ser hallada en distintas fuentes. Lo principal es consultar los Planes de Desarrollo Municipal. Esta información puede ser completada con los Informes de Coyuntura Económica Regional (ICER) que realiza el Banco de la República. También se puede consultar la página de AGRONET (Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario) del Ministerio de Agricultura, donde hay información estadística, climática, y documentación en general sobre el sector agropecuario a nivel nacional.

Finalmente, se analiza la infraestructura de transportes de la zona. Aquí se busca saber si en la zona se cuenta con aeropuertos, terminal de transporte o transporte marítimo o fluvial si aplica. De igual modo, se debe estudiar las vías existentes (con qué municipios se encuentra conectada la zona) y el estado de las mismas. Esto permite tener mayor conocimiento al momento de evaluar la cadena de suministros o de comercialización de la actividad minera, y saber cómo se mueven las demás actividades económicas. Adicionalmente, permite estimar como vive y se comunica la población, los canales de acceso que tienen para ir a trabajar, estudiar, entre otros, lo que también puede influenciar la presencia de conflictos sociales. Si las personas tienen dificultades para movilizarse, las vías se encuentran en mal estado, pueden haber conflictos si la actividad minera usa esas carreteras, o así no las use, se genera la expectativa de que es su obligación arreglarlas, y el hecho de que la empresa no lo haga (no es su obligación) genera rechazo hacia la actividad.

Información sobre la infraestructura de transportes se puede encontrar en los Planes de Desarrollo Municipal y Departamental.

Una caracterización socioeconómica completa posibilita evaluar y estimar los riesgos que el cambio climático pueda implicar para la población, y lo que esto significaría para la actividad minera inmersa en la zona.

19.2.1 Identificación y caracterización de las amenazas de entorno

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.

Obviamente no se trata de una identificación detallada, porque en el extremo lo que se requiere, como se dijo, es un análisis de vulnerabilidad y riesgo del área en su totalidad a los subeventos del cambio y la variabilidad climática, lo que no parece ser una responsabilidad de un plan sectorial como el que da lugar a estos análisis.

Para este propósito se podría dividir el entorno de la siguiente forma: infraestructura, servicios públicos, población, actividades económicas y transporte. Se tomarían uno a uno los eventos amenazantes y se analizan sus efectos sobre estos componentes del entorno.

Así, si tomamos como evento amenazante las inundaciones (causadas por aumento en la precipitación), ¿qué efecto pueden tener las inundaciones sobre los componentes antes mencionados?

La infraestructura pública (colegios, hospitales) o privada (casas, industrias) puede verse afectada. Entonces se evalúa la posibilidad de que dichas infraestructuras (según la caracterización realizada: su localización y estado de conservación) puedan verse inundadas. Suponiendo que sólo se verían afectadas algunas casas que queden cerca de un río, o en zona baja, y no hospitales o escuelas, esto sería un riesgo bajo para el entorno. Mientras que si se inundan hospitales y/o colegios, y si esto impide la continuidad en la prestación de estos servicios, esto puede significar un riesgo mayor ya que generaría inconformidades más profundas en la población.

Se procedería a evaluar el tema de los servicios públicos según las características encontradas sobre la prestación de estos servicios, ¿es posible que se vea deteriorada su prestación por un evento de inundaciones? Si la red eléctrica es vieja, se le hace poco mantenimiento, el municipio cuenta con zonas de difícil acceso, cada vez que llueve se va la luz, entre otros elementos que se puedan encontrar, entonces la respuesta sería sí, y así para los demás servicios públicos.

En cuanto a la población, se evalúa si pueden haber efectos directos sobre ésta causados por el evento amenazante. En el ejemplo de las inundaciones, si la zona de estudio se encuentra en clima cálido, éstas podrían facilitar la aparición de enfermedades transmitidas por mosquitos, como dengue, chikungunya, u otras.

En el tema de la economía, conforme a la estructura de ésta en la zona de estudio, se pueden estimar los riesgos. Si la economía depende altamente de actividades del sector primario, y que éstas se encuentran en zona inundable, entonces con certeza se verán afectadas, y esto traería consecuencias sobre el nivel de empleo, de ingresos, la seguridad alimentaria, entre otras variables dependientes de las actividades agropecuarias por ejemplo.

Finalmente, también se debe evaluar el tema del transporte. Si en la zona de estudio las carreteras están en buen estado y no se inundan generalmente, entonces no habría riesgo alguno. Por el contrario, si son carreteras con necesidad de mantenimiento o sin pavimentar, y que además se ven afectadas por las olas de invierno, entonces si hay un riesgo alto para este componente, que puede afectar la capacidad de la población para desplazarse hacia su trabajo, centro de estudio o centros de salud. De igual forma puede afectar el desarrollo de las actividades económicas.

Se procede a hacer este mismo análisis para cada subevento amenazante identificado y cada componente 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, todo lo que constituye una amenaza para el entorno del sistema minero.

20. 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.

Por ejemplo, en el caso del estudio realizado para el área de Villavicencio se identificaron como actores estratégicos, las secretarías de planeación y de ambiente de los municipios considerados en el área de estudio (Villavicencio, Guamal, Acacías y Castilla), así como la Autoridad Ambiental Regional, Cormacarena. En el sector privado se identificaron dos (2) empresas dedicadas a la extracción de material de arrastre en la zona: Mintracol y Gravicon.

Una vez identificados los actores, se elaboró una pequeña base de datos con la información relevante para cada actor: nombre del actor, dirección, teléfonos, persona de contacto y correo electrónico. Con esta información se realizaron unas cartas solicitando reuniones en las fechas programadas para la visita. Se hizo seguimiento telefónico para confirmar la recepción de las cartas y para agendar la hora y el día de la reunión.

Una vez en campo, al momento de realizar las reuniones se debe explicar de forma general en qué consiste el proyecto y el objetivo de la reunión, sin compartir los hallazgos del equipo consultor en cuanto a la zona de estudio. Se puede proceder haciendo preguntas lo suficientemente abiertas como para no influenciar las respuestas de los entrevistados. Por ejemplo, ¿qué efectos tienen el invierno y el verano en la zona de estudio? Si se requiere se pueden hacer preguntas más específicas pero no inductivas, por ejemplo: ¿qué sucede con las carreteras en época de invierno? A diferencia de ¿se inundan las carreteras en época de invierno?

Finalizando la reunión se pueden compartir y contrastar (si es el caso) los hallazgos de la consultoría en cuanto a los eventos amenazantes identificados y los riesgos que esto implicaría. Las reuniones con los entes territoriales son una buena oportunidad para verificar o identificar riesgos del entorno.

En el caso de las reuniones con las empresas, se puede conducir la entrevista de la misma forma, pero haciendo más énfasis en los componentes del sistema minero. Es importante realizar una visita técnica de la mina y entender cómo funciona: dónde se hace la extracción, cómo se hace el beneficio (si aplica), de dónde llegan los suministros, cómo se transporta y comercializa el material extraído. También se debe prestar atención al número de trabajadores y a las

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

condiciones bajo las cuales trabajan: en el frío, bajo el sol, bajo tierra, en el calor, en un ambiente húmedo, contaminado, entre otras variables. Esto puede ayudar a identificar riesgos no considerados inicialmente.

Finalmente, considerando todas las reuniones llevadas a cabo, se deben sacar unas conclusiones generales sobre los eventos amenazantes y los riesgos derivados de éstos, que se habían identificado.

21. VALORACIÓN DE LAS AMENAZAS IDENTIFICADAS

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

A continuación la amenaza en cuestión debe ser valorada 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 21-1 Escala para definir el potencial de daño de la amenaza

Potencial de daño esperado				
Alcance: Potencial modificación elemento afectado				
Centralidad: Importancia elemento afectado		Marginalmente	Parcialmente	Sustantivamente
	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.

Así, cada amenaza se cualifica primero en función de su potencial de daño, y se pregunta si:

- el evento tiene el potencial de modificar marginalmente el elemento afectado del componente
- el evento tiene el potencial de modificar parcialmente el elemento afectado del componente
- el evento tiene el potencial de modificar sustantivamente el elemento afectado del componente

Luego de obtener ese valor, se define la centralidad del daño posible. Se pregunta si:

- el evento afecta un elemento secundario del componente
- el evento afecta un elemento importante del componente
- el evento afecta un elemento central del componente

De cruzar los dos valores obtenidos utilizando la matriz de arriba se obtiene la gravedad de la amenaza.

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

Tabla 21-2 Escala para definir la gravedad de la amenaza

		Gravedad amenaza		
		Posibilidad daño		
		bajo	medio	alto
Potencial daño	bajo	1	1	2
	medio	1	2	3
	alto	2	3	3

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Cabe recordar que la posibilidad de ocurrencia de la amenaza quedó definida o debiera hacerlo, en el mismo momento que ella se identifica, como fue visto en el capítulo.

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.

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

Se recuerda que el riesgo es definido de acuerdo a la siguiente fórmula: $Riesgo = f(\text{Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad})$.

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 uno, pues justamente el área se ha escogido por haber allí 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 unidad de análisis.

23. 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).

Estos términos leídos en términos de esta metodología pueden expresarse de la siguiente forma:

- Amenaza = posibilidad de que un suceso 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 suceso 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.

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

23.1 Sensibilidad del sistema minero no de los componentes

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.

En otras escalas de análisis puede tener sentido analizar la sensibilidad componente a componente. Por ejemplo, a escala de una operación minera puede tener sentido estimar la sensibilidad frente a inundaciones de cada una de sus grandes infraestructuras. Pues efectivamente la predisposición a ser afectado depende mucho de sí mismo y no de otros de los componentes del sistema.

No obstante, en el caso de un sistema minero tipo no es posible distinguir, salvo ejercicios de artificio que poca información aportarían, la predisposición a ser afectado de cada componente

en relación a la del sistema como un todo. Por tanto, se estima la sensibilidad del sistema como un todo.

23.2 Sensibilidad del sistema minero

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

La siguiente cita de la Contraloría General de la República confirma esta acepción: “Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente; corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012). En el contexto de adaptación, se entiende como la susceptibilidad descrita en la definición de la Ley 1523 de 2012, o la incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos (con base en la definición del IPCC). (Adaptación al Cambio Climático en Colombia. Contraloría General de la República. Pág. 10).

Definiciones a nivel internacional se ubican en la misma línea:

“Sensibilidad. El grado de sensibilidad de un sistema a riesgos climáticos no sólo depende de las condiciones geográficas, sino también de los factores socioeconómicos como la población y la infraestructura. Los indicadores de sensibilidad pueden incluir las condiciones geográficas, el uso del suelo, las características demográficas y la estructura industrial, como por ejemplo la dependencia de la agricultura y el alcance de la diversificación industrial.”⁸ (Miller, Sebastian. Vulnerability indicators of adaptation to climate change and policy implications for IDB projects / Sebastián Miller, Sang W. Yoon, Bok-Keun Yu. p. cm. (IDB Policy Brief; 184, pág. 5).

Sin embargo, en ambas definiciones de tan distinto origen no se aclara que se puede entender como susceptibilidad ni cómo conceptualizarla en cada caso, pues al parecer en general se trata de análisis de vulnerabilidad que opta por una aproximación operativa de riesgo, lo que la reduce a un concepto derivable del sentido común o cuya determinación es caso a caso.

⁸ Traducido del inglés. Texto original: “Sensitivity. The degree of a system’s sensitivity to climatic hazards depends not only on geographic conditions but also socio-economic factors such as population and infrastructure. Indicators of sensitivity can encompass geographical conditions, land use, demographic characteristics, and industrial structure such as dependency on agriculture and extent of industrial diversification.”

En el contexto del análisis estructural de riesgo que orienta esta metodología se precisa una reflexión, pues el sistema afectado no se puede entender como algo que está ahí afuera con propiedades físicas medibles que delatan su posible susceptibilidad a sufrir daño, sino que se trata más bien de un concepto abstracto, construido, el sistema minero tipo, que hace referencia a una tipología de actividad minera en un territorio dado.

En primer término, es necesario entender que el “sistema minero” es una entidad estructurada, es decir, no se trata de un conjunto de entidades materiales susceptibles de verse amenazadas por eventos naturales, sino de un conjunto de actividades económicas cuya lógica interna viene dada por la función de generación de valor que las caracteriza. Por tanto, su sensibilidad depende de sus condiciones y lógicas de funcionamiento como tal entidad antes que por sus fortalezas físicas.

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 tipo.

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

En tanto que 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 cualificaran la disposición de cada uno de estos recursos. A efectos, la Tabla 23-1 recoge una propuesta de criterios que pueden medir ese grado de estructuración del sistema minero.

Tabla 23-1 Criterios para la determinación de la sensibilidad del sistema minero

Recurso	Sentido	Indicador
Recursos institucionales: La existencia institucionalizada de la actividad	Disponibilidad o no de existencia como persona jurídica y con todos los permisos y estatutos legales	Existencia legal formal de la empresa minera vigente en la Cámara de Comercio

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

Recurso	Sentido	Indicador
minera de acuerdo al marco legal vigente.	vigentes para la realización de la actividad.	Título minero legalmente expedido.
Recursos directivos: La existencia y calidad de su dirección y gerencia empresarial.	Disponibilidad o no 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 o no 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 o no de 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.

Naturalmente la posibilidad de estimar los indicadores propuestos depende de la información disponible, y se debiera o pudiera identificar otros parámetros en función de su factibilidad de cálculo. Igualmente, en estudio de detalle la obtención de la información necesaria pudiera realizarse mediante una encuesta.

Una alternativa a esta modalidad es clasificar el universo minero analizado según tipos de minería; gran minería, mediana, pequeña minería y de subsistencia. A cada minería tipo se le asigna un valor cualitativo a los criterios expuestos más arriba y un peso. La siguiente Tabla 23-4 recoge esta opción que es la utilizada en los casos piloto que han acompañado a la elaboración de esta metodología.

Tabla 23-2 Cálculo de sensibilidad del sistema minero según tipología minera

Tipos de minería	Gran minería	Mediana Minería	Pequeña minería y de subsistencia				
	Ponderación variable	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado
Recursos institucionales	0,2	1	0,2	1	0,2	0,25	0,05
Recursos directivos	0,2	1	0,2	0,4	0,08	0,2	0,04
Recursos técnicos	0,25	0,8	0,2	0,35	0,0875	0,15	0,0375
Recursos de calidad	0,15	0,6	0,09	0,3	0,045	0,5	0,075
Recursos de materiales	0,2	0,95	0,19	0,5	0,1	0,2	0,04
Índice sensibilidad segmento			0,88		0,5125		0,2425

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Para cada tipología minera se estima cualitativamente el grado de presencia relativa de ese recurso, siendo 1 presencia total y 0 nula presencia. Luego, se pondera esa valoración y la suma agregada da el valor de sensibilidad estándar de cada tipología.

Para estimar el valor de la sensibilidad del sistema minero del área de análisis bastaría multiplicar la presencia de cada una de los tipos mineros (gran, mediana y pequeña y artesanal) para obtener el valor del agregado.

Ejemplo: presencia de gran minería: 0 %, mediana minería: 20 %, pequeña y de subsistencia: 80, índice sensibilidad sistema minero = $1 - ((0 \cdot 0.88) + (0.2 \cdot 0.52) + (0.8 \cdot 0.25)) = 0.70$, muy alto, obviamente.

23.3 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 que es razonable es definir la capacidad de adaptación del sistema minero, entendiendo el sistema minero 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, como se ve el resultado es muy similar al análisis de sensibilidad, solo que en este caso la disponibilidad de recursos, más que revelar 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 Tabla 23-3.

Tabla 23-3 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 actividad/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.

Naturalmente la posibilidad de estimar los indicadores propuestos a modo de ilustración depende de la información disponible, y se debiera o pudiera identificar otros parámetros en función de su factibilidad de cálculo.

Una alternativa a esta modalidad es clasificar, como se hizo en el caso anterior, el universo minero analizado según tipos de minería; gran minería, mediana, pequeña y artesanal, etcétera, y derivar un índice de capacidad de adaptación estándar por tipología de minera, lo que queda recogido en la Tabla 23-4.

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 23-4 Cálculo de la capacidad de adaptación del sistema minero según tipología minera

Tipos de minería		Gran minería		Mediana minería		Pequeña minería y de subsistencia	
Variables	Ponderación variable	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado
Recursos financieros: índice de rentabilidad de la empresa minera	0,3	0,8	0,24	0,6	0,18	0,4	0,12
La existencia y calidad de su dirección y gestión técnica/ recursos tecnológicos	0,3	1	0,3	0,5	0,15	0,2	0,06
Disponibilidad de recursos materiales	0,2	0,8	0,16	0,4	0,08	0,3	0,06
Disponibilidad de recursos humanos capacitados	0,2	0,6	0,12	0,4	0,08	0,2	0,04
Capacidad adaptación segmento	1		0,82		0,49		0,28

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

23.4 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 23-5 Escala para determinar índice de vulnerabilidad

Índice Capacidad adaptación		Índice de sensibilidad		
		BAJA	MEDIA	ALTA
		0-0,1	0,11-0,6	0,61-1
ALTA	1-0,9	Baja	Media	Media
MEDIA	0,89-0,6	Baja	Media	Alta
BAJA	0,59-0	Baja	Alta	Alta

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

24. CALCULO 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 reflejada en la Tabla 24-1.

Tabla 24-1 Índice de riesgo

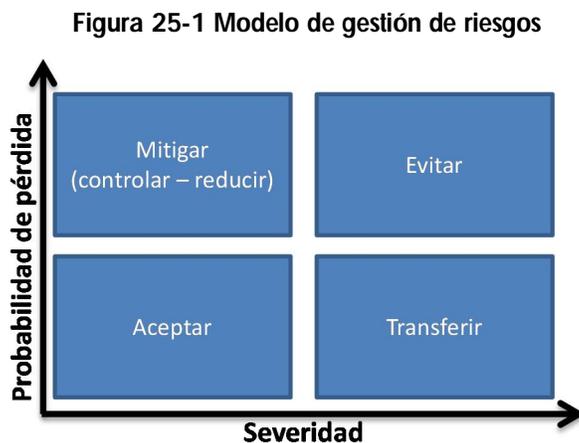
		VULNERABILIDAD SISTEMA MINERO		
		BAJA	MEDIA	ALTA
GRAVEDAD AMENAZA	BAJA	Baja	Baja	Baja
	MEDIA	Media	Media	Alta
	ALTA	Media	Alta	Alta

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

En este punto es bueno señalar que las escalas de valoración propuestas en este capítulo el anterior constituyen una opción dentro de otras, y que por tanto son perfectibles en todo sentido en los ejercicios que puedan realizarse a futuro.

25. EL ANÁLISIS (VALORACIÓN) DE RIESGO

El proceso de selección de las medidas más propicias para enfrentar los eventos climáticos extremos, es necesario evaluar y priorizar los riesgos identificados. La Figura 25-1, presenta una aproximación casi universal a esta evaluación en donde el tratamiento del riesgo está en función de la severidad (intensidad) del daño y de la probabilidad de pérdida de vidas o económica.



Fuente: Pérez, 2013, adaptado por ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

La Figura 25-2 presenta otro modelo de gestión de riesgos según la gravedad del daño y la probabilidad de ocurrencia en las decisiones de la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

Figura 25-2 Modelo gestión riesgo

Grado de exposición: calificación de riesgos				
Probabilidad	Efecto			Tipo de medidas según probabilidad
	Leve 5	Moderado 10	Muy grave 27	
Baja 1	No es necesaria consideración en decisiones posteriores, salvo nuevos indicios que lo justifiquen.	Consideración en decisiones posteriores si aumenta la probabilidad de efectos adversos.	Consideración en decisiones posteriores. Mejorar la información disponible en las áreas de efecto catastrófico para mejorar las posibilidades de vigilancia y control en fases posteriores.	Consideración en decisiones posteriores
Media 2	Vigilancia y control (monitoreo).	-Vigilancia y control (monitoreo) -Identificar y desarrollar las necesidades de Mejora de la información disponible.	-Vigilancia y control (monitoreo) -Identificar necesidades de Mejora de la información disponible -Elaboración de planes de Intervención preventiva.	-Vigilancia y control (monitoreo) -Mejora de información disponible sobre procesos clave
Alta 3	Adoptar medidas preventivas de carácter leve, p.e. previsión de sistemas de información, monitoreo y control.	Las medidas preventivas deben garantizar unas condiciones de explotación que reduzcan significativamente (e incluso eviten) los riesgos	Las medidas preventivas deben garantizar unas condiciones de explotación que eviten (o al menos minimicen) los riesgos.	-Intervención preventiva directa -Mejora de la información disponible
	-Asumir o reducir el riesgo -Compartir o transferir el riesgo	-Asumir o reducir o evitar el riesgo -Compartir o transferir el riesgo	-Evitar o minimizar el riesgo -Compartir o transferir el riesgo	
	Objetivo de las medidas según efecto posible			

Fuente: Siga, ACON & Tau, 2013.

A partir de la cualificación de riesgos podrá definirse el modelo de gestión para el sistema minero donde los riesgos altos deban evitarse o mitigarse sin mayores consideraciones, los riesgos medios deban mitigarse o transferirse y, los riesgos bajos deban aceptarse sin adoptar medidas duras. En todos los casos y por la alta incertidumbre de los análisis deberá hacerse un seguimiento cuidadoso de la evolución de estos.

En el marco de la metodología presente se propone una caracterización de los riesgos a partir de dos miradas adicionales. La primera mirada está representada en la Tabla 25-1 y permite identificar los componentes del sistema minero más severamente afectados y aquellos en donde pueden acumularse varios riesgos cuyas sinergias negativas deben considerarse.

Tabla 25-1 Número de riesgos según tipo y componente del sistema minero

Componente Sistema Minero	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo Bajo	Total
Componente Administrativo, Financiero				
Componente Recursos Humanos				
Componente Cadena de Suministro				
Componente Extractivo				
Componente Almacenamiento Temporal				

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

Componente Sistema Minero	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo Bajo	Total
Componente Beneficio y Transformación				
Componente Transporte y comercialización				
Componente Gestión Ambiental				
Componente Entorno social, ambiental y de gobernabilidad				
Total				

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

Una segunda mirada lineal supone agrupar los riesgos identificados según eventos que, en definitiva, pueden representar un papel más relevante en la generación de riesgos, lo que pudiera apuntar a un tipo de gestión específica en este sentido.

Tabla 25-2 Número de riesgos según tipo y evento

Componente Sistema Minero	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo Bajo	Total
Inundaciones				
Remoción en Masa y erosión				
Efectos en el comportamiento volumétrico del suelo				
Sequía				
Abatimiento del Nivel freático				
Elevación del nivel del mar				
Olas de calor				
Heladas				
Vendavales				
Total				

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

En conclusión, se propone un ejercicio que toma como referencia la Tabla 25-1 ponderada por la importancia de cada componente del sistema minero. Es decir, un riesgo alto en un componente determinado pudiera valer más o ser más significativo y, por tanto, requerir medidas más duras o prioritarias que otro riesgo alto afectando un componente de menor importancia relativa.

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

Para efectos de identificar la importancia de cada componente en el sistema se propone una valoración cruzada del papel funcional que tiene cada componente en el resto, en una matriz de doble entrada como la que se muestra en la Tabla 25-3.

El valor que fluctúa entre 1 y 3 representa el grado de influencia o importancia que tiene el componente fila en el componente columna. Así, por ejemplo, el Componente Administrativo Financiero es muy relevante para sí mismo puesto que explica la razón de ser de la empresa e igualmente para el Componente Recursos Humanos pues es indispensable para mantenerlos en la empresa y para el Componente Cadena de Suministro.

Tabla 25-3 intensidad de relaciones de funcionalidad entre componente del sistema minero

Componente/componente	Componente Administrativo, Financiero	Componente Recursos Humanos	Componente Cadena de 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	Grado influencia
Componente Administrativo, Financiero	3	3	3							9
Componente Recursos Humanos				3	1	1			2	7
Componente Cadena de Suministro				3	2	2				7
Componente Extractivo					3	2		3		8
Componente Almacenamiento Temporal						3		3		6
Componente Beneficio y Transformación							3	3		6
Componente Transporte y Comercialización	3								3	6
Componente de Gestión Ambiental									3	3
Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	3									3
Grado dependencia componente	9	3	3	6	6	8	3	9	8	55

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

Este ejercicio permite jerarquizar la influencia y la dependencia de los componentes del sistema minero, reflejado en la Tabla 25-4.

Tabla 25-4 Ranking de influencia de los componentes del sistema minero

Componente/componente	Grado de influencia
Componente Administrativo, Financiero	9
Componente Recursos Humanos	7
Componente Cadena de Suministro	7
Componente Extractivo	8
Componente Almacenamiento Temporal	6
Componente Beneficio y Transformación	6
Componente Transporte y Comercialización	6
Componente de Gestión Ambiental	3
Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	3
Grado dependencia componente	55

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

Se distinguen claramente varios segmentos de componentes; algunos muy relevantes como el administrativo y financiero o el extractivo y otros menos relevantes para la funcionalidad del sistema minero como el de entorno o gestión ambiental. Ello pudiera suponer que los riesgos sobre los componentes más centrales del sistema debieran ser prioritarios.

Se puede obtener también el orden y la dependencia de los componentes, como se ve en la Tabla 25-5.

Tabla 25-5 Ranking de dependencia de los componentes del sistema minero

Componente/componente	Grado de dependencia
Componente Administrativo, Financiero	9
Componente Recursos Humanos	9
Componente Cadena de Suministro	8
Componente Extractivo	8
Componente Almacenamiento Temporal	6
Componente Beneficio y Transformación	6
Componente Transporte y Comercialización	3
Componente de Gestión Ambiental	3
Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	3

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

Este ranking denota como algunos componentes dependen excesivamente de otros, el administrativo y financiero nuevamente, y el de gestión ambiental, mostrando una particular debilidad en este sentido. Esto viene a señalar que de fallar el resto estos serían los componentes que sufrirían con mayor probabilidad.

Resulta interesante poder valorar, entonces los riesgos según la centralidad de los componentes afectados, combinando su grado de influencia y dependencia, así como el número total de puntos asignados, su peso total en el sistema si se quiere.

Se propone ordenar los componentes según la siguiente fórmula:

$$\text{Centralidad componente} = \left(\frac{\text{Grado influencia}}{\text{Grado dependencia}} \right) * (\text{Puntos de influencia} + \text{Puntos de dependencia})$$

El cociente que evalúa la proactividad o la dependencia de los componentes del sistema, se pondera con los puntos obtenidos por el componente, es decir, por su peso absoluto. Así se obtiene un orden de los componentes más o menos centrales en el sistema, facilitando la gestión de riesgo basada en el orden prioritario como indica la Tabla 25-6. Este orden ofrece una perspectiva enriquecida y muy razonable del sistema minero, la funcionalidad de sus componentes y la importancia relativa de los riesgos que afectan a cada componente.

Tabla 25-6 Grado de centralidad de los componentes del sistema minero

Componente	Puntos influencia	Puntos dependencia	Ratio (influencia sobre dependencia)	Centralidad componente
Componente Recursos Humanos	7	3	2,3	23,3
Componente Cadena de Suministro	7	3	2,3	23,3
Componente Extractivo	8	6	1,3	18,7
Componente Administrativo, Financiero	9	9	1	18
Componente Transporte y Comercialización	6	3	2	18
Componente Almacenamiento Temporal	6	6	1	12
Componente Beneficio y Transformación	6	8	0,8	10,5
Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	3	8	0,4	4,1
Componente de Gestión Ambiental	3	9	0,3	4

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

Se propone una matriz de valoración de riesgos que utilice el análisis de centralidad de los componentes y los resultados del análisis del riesgo como muestra la Tabla 25-7.

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 25-7 Matriz de valoración de riesgos

Centralidad sistémica componente	Componente Recursos Humanos	23,3	Controlar / reducir	Controlar / reducir	Evitar
	Componente Cadena de Suministro	23,3			
	Componente Extractivo	18,7			
	Componente Administrativo, Financiero	18			
	Componente Transporte y Comercialización	18			
	Componente Almacenamiento Temporal	12	Aceptar	Transferir	
	Componente Beneficio y Transformación	10,5			
	Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	4,1			
	Componente de Gestión Ambiental	4			
		$x < 0,49$	$0,49 > x < 0,99$	$x > 1$	

Nivel de riesgo

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

Esta calificación permite tomar decisiones sobre la gestión del riesgo, sugiriendo así: 1) **aceptar** los riesgos muy bajos; **mitigar (controlar y reducir)** los riesgos moderados; y **evitar** los riesgos altos.

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 25-8 Ejemplo de evaluación de riesgos a partir de centralidad sistémica de componentes

Centralidad sistémica componente	Componente Recursos Humanos	23,3	La posibilidad 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 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 bajo riesgo para el mismo	Controlar/reducir	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, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un alto riesgo para el mismo
	Componente Cadena de Suministro	23,3			
	Componente Extractivo	18,7			
	Componente Administrativo, Financiero	18			
	Componente Transporte y Comercialización	18			
	Componente Almacenamiento Temporal	12	Aceptar	Controlar/reducir	La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere que durante estas los sistemas de acopio de carbón podrán afectarse por erosión de las pilas de almacenamiento, lo que sugiere alta posibilidad de afectación 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 alto riesgo para el mismo
	Componente Beneficio y Transformación	10,5			
	Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	4,1	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 bajo riesgo para el mismo.	Transferir	Transferir
	Componente de Gestión Ambiental	4			
			$x < 0,49$	$0,49 > x < 0,99$	$x > 1$
Nivel de riesgo					

Fuente: ACON – miembro Grupo INERCO, 2015

26. SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA

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 obviamente de la implantación geográfica del sistema minero objeto de estudio, y de las condiciones del territorio en cuestión, pudiendo considerarse otras variables como al 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 y la variabilidad climática en el área de estudio, 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: caracterizar 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 análisis 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, si constituye un pilar importante a la hora de estimar las condiciones estructurales del área frente al cambio 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. En ese caso resulta obvio utilizar esas metodologías para fijar este aspecto. En el caso en que no existan tales aproximaciones metodológicas, entonces, se deberá avanzar cualitativamente, a partir de toda la información técnica disponible en cada caso. El propósito es simple, determinar para cada subevento 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 subeventos 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 sea matizado en el siguiente.

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 subeventos del cambio y la variabilidad climática, y iii) el comportamiento histórico reciente de estos subeventos en el área de análisis, se debe establecer el nivel (alta, media, baja) de posibilidad (plausibilidad) de ocurrencia de cada uno de los subeventos 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 lugar⁹.

- 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. Igualmente, se trata

⁹ 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 en el uso cotidiano del lenguaje, 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.

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.

- 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 identificó 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.

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

- 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 componentes 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.

27. MATRICES DE APOYO A LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA PARA LA MINERÍA EN COLOMBIA

Los escenarios climáticos proyectados para Colombia indican que el comportamiento de las precipitaciones no será igual en las diferentes regiones y que, en consecuencia, los análisis de evaluación y adaptación deben ser específicos en cada caso (IDEAM, 2015, pág. 14). Bajo esta perspectiva surge la necesidad de elaborar una herramienta de análisis tipo matriz que facilite la evaluación del riesgo asociado al cambio climático para los diferentes sistemas mineros en diferentes áreas geográficas.

En este documento se han descrito nueve subeventos asociados al cambio climático y sus diferentes efectos sobre una unidad minera productiva o un distrito minero según sea el rango de análisis. Posteriormente, se ha propuesto una desagregación del sistema minero según sus ocho componentes fundamentales y su entorno y; por último, se plantea una tipología de impactos consecuente con todo lo anterior que incluye 12 categorías.

A partir de todo lo anterior, se ha diseñado un conjunto secuencial de matrices cuya gestión permite realizar integralmente los cálculos sugeridos en esta metodología en sus 13 pasos. Para estos efectos se ha sistematizado el ejercicio y los cálculos en una simple aplicación sobre Excel que se acompaña a esta metodología y que dispone de un manual de usuario que es indispensable leer con atención para poder usar el aplicativo.

27.1 Descripción de la estructura del libro de Excel

La herramienta está conformada por siete componentes:

- Matriz caracterización de eventos y territorio.
- Matriz de identificación de amenazas directas.
- Matriz de análisis de amenazas indirectas.
- Matriz de valoración cualitativa de la posibilidad de ocurrencia.
- Matriz valoración cualitativa del potencial del daño esperado.
- Matriz de la valoración de la gravedad del daño.
- Matriz de la valoración del riesgo.
- Matriz de análisis de riesgo.

Cada una de ellas se encuentra relacionada entre sí, por lo que en su mayoría, la herramienta transmite los datos de una matriz a otra de forma automática.

27.1.1 Matriz caracterización de eventos y territorio

La matriz caracterización de eventos y territorio tiene como propósito determinar la posibilidad de que tengan lugar los eventos y subeventos amenazantes del cambio y la variabilidad climática (CC) para la minería en el área de estudio. Para ello, se cuenta con lo que señalan al respecto los escenarios de CC de la 2ª y 3ª Comunicación Nacional y los escenarios planteados por estudios oficiales territoriales en cada caso. Además se cuenta con la valoración, hasta hora cualitativa, de la vulnerabilidad del territorio o su susceptibilidad a sufrir los subeventos relevantes para la minería. En el futuro los indicadores seleccionados podrán documentar mejor la susceptibilidad/vulnerabilidad del territorio. La matriz culmina con la calificación del subevento amenazante.

Figura 27-1 Calificación del subevento amenazante

Calificación	CALIFICACIÓN DEL SUBEVENTO AMENAZANTE		
	Baja	Alta	Media
Interpretación	<p>Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3ª 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, en adelante, no señalan un fenómeno recurrente de sequía paratoda el área, siendo en adelante, 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 hacen prever a sufrir fenómenos de sequía sino de forma más bien puntual en términos espacial y temporal. Toda ella sujeta que sería posible que el área de análisis sufriera fenómenos de sequía con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en las distintas escenarios de cambio climático que considera la 3ª Comunicación Nacional.</p>	<p>Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de las series de datos 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 INVERMAR han confirmado que se alcanzarán, así como las Comunicaciones Nacionales, señalando un incremento de significativa importancia en ambas costas. Aunque este es un fenómeno que tendrá lugar en áreas distantes de las de análisis, tiene un efecto indirecto sobre el sistema minero, razón por la que se considera, en concreto como un evento de muy posible ocurrencia.</p>	<p>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 climatología, edafología, sistema hidroclimático y clima del área de análisis no hacen prever a sufrir inundaciones. Toda ella sujeta que sería posible que el área de análisis sufriera fenómenos de inundación con una frecuencia e intensidad mayores a la que la ha caracterizado históricamente en las distintas escenarios de cambio climático que considera la 3ª Comunicación Nacional.</p>

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

27.1.2 Matriz de identificación de amenazas directas

La matriz de identificación de amenazas directas tiene como propósito determinar la posibilidad de que los subeventos del CC, de acuerdo a su perfil estimado en la matriz de Caracterización de Eventos y Territorio constituyan una Amenaza para cualquiera de los componentes del sistema Minero o para su entorno. Para ello, se cuenta con la caracterización del Subevento Amenazante en la matriz respectiva, y con la descripción cualitativa de los componentes del sistema Minero y del entorno. Cada Subevento Amenazante se ha subdividido en varios tipos de impactos a que pueda dar lugar para mejor identificar la posible amenaza.

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

Figura 27-2 Matriz de identificación de amenazas directas

Eventos secundarios/ sub eventos del CC		INUNDACIONES			
Calificación del sub evento amenazante	Calificación	Alto			
	Interpretación	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 la que la ha caracterizado históricamente en los distintos escenarios de cambio climático que considera la 3ª Comunicación Nacional.			
Impactos sobre los componentes del sector minero		Filtraciones	Desbordamiento por crecientes súbitas y avenidas torrenciales	Anegación	Encharcamiento
	Componente Administrativo, Financiero				
	Posibilidad de ocurrencia amenaza				

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

27.1.3 Matriz de análisis de amenazas indirectas

La matriz de análisis de amenazas indirectas tiene como propósito identificar las posibles amenazas indirectas sobre cada uno de los componentes del sistema minero que se derivan de las amenazas directas identificadas en la matriz anterior.

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

Figura 27-3 Ejemplo estructura matriz amenazas indirectas

AMENAZA DIRECTA/COMPONENTE	Amenazas Directa Componente Recursos Humanos		Amenazas Directa Componente Extractivo			Amenazas Directa Componente Almacenamiento Temporal		
	La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por deslizamientos de tierra en las labores de construcción de obras de infraestructura de transporte y servicios básicos.	La posibilidad de que ocurran fenómenos de inundación que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por ahogamiento o por enfermedades transmitidas por el agua.	La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundación que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por ahogamiento o por enfermedades transmitidas por el agua.	La remoción en masa y la erosión que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por deslizamientos de tierra en las labores de construcción de obras de infraestructura de transporte y servicios básicos.	La posibilidad de que ocurran fenómenos de inundación que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por ahogamiento o por enfermedades transmitidas por el agua.	La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por deslizamientos de tierra en las labores de construcción de obras de infraestructura de transporte y servicios básicos.	La posibilidad de que ocurran fenómenos de inundación que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por ahogamiento o por enfermedades transmitidas por el agua.	La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa que genere una alta posibilidad de que se produzcan lesiones o muertes por deslizamientos de tierra en las labores de construcción de obras de infraestructura de transporte y servicios básicos.
Possibilidad de ocurrencia	Media	Baja	Alta	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja
Componente Administrativo, Financiero								
Possibilidad de ocurrencia								
Componente Recursos Humanos								
Possibilidad de ocurrencia								
Componente Cadena suministro								
Possibilidad de ocurrencia								

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015

27.1.4 Matriz de la valoración de la gravedad del daño

El objetivo de esta matriz es sintetizar el análisis de amenazas y determinar la gravedad de cada una, en función de las asignaciones previas de posibilidad y potencial de daño que se asigna en esta matriz, entre amenazas graves, relevantes y secundarias.

27.1.5 Matriz de riesgos

Esta matriz tiene como propósito determinar el valor del riesgo de las amenazas a través del cálculo de la vulnerabilidad y el de la gravedad determinado en la matriz anterior. Ésta se encuentra dividida en tres hojas de Excel: "Vulnerabilidad", "Riesgo", y "Listado Riesgo".

- Hoja de Excel "Vulnerabilidad"

En esta pestaña se determina el valor de la vulnerabilidad del sector minero a través del índice de sensibilidad y el índice de capacidad de adaptación (Figura 27-4) cuyos cálculos se encuentran divididos en dos tablas.

Figura 27-4 Índice de vulnerabilidad sistema Minero

Índice de sensibilidad del sistema minero	Índice de capacidad de adaptación del sistema minero	Índice Vulnerabilidad Sistema Minero
0,7035	0,678	0,476973

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

En ambas se encuentran las variables a analizar para los diferentes tipos de minería (gran minería, mediana minería, pequeña minería y artesanal). En la Figura 27-4 y Figura 27-5 se puede observar que las variables cuentan con una ponderación cambiante, y los tipos de minería de su presencia relativa y un valor ponderado.

- Hoja de Excel "Riesgos"

Esta hoja realiza el cálculo del riesgo de las amenazas identificadas a partir del valor de la gravedad y de la vulnerabilidad, adjuntando las interpretaciones para cada valoración.

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

- Hoja de Excel “Listado de Riesgo”

En la hoja de Excel “Listado de Riesgo” se presentan los resultados de la hoja de “Riesgo” de cada uno de los componentes. Este listado se realiza de manera indistinta entre amenazas directas e indirectas. Además, se presenta para cada uno la interpretación del riesgo y su calificación

Figura 27-5 Ejemplo hoja de listado de riesgos por componente

Componente Administrativo, Financiero	Componente Recursos Humanos	Componente Cadena suministro	Componente Extractivo	Componente Almacenamiento Temporal	Componente Beneficio y Transformación
La posibilidad 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.	La posibilidad 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 medio para el mismo.	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, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.	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 el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.	La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de inundaciones sugiere que durante éstas los sistemas de acopio de carbón podrían verse afectados por erosión de las pilas de almacenamiento, lo que sugiere una alta posibilidad de que se generen efectos en los sistemas de drenaje y en las vías de acceso, con un potencial de daño medio de daño, por lo que se constituyen en el componente temporal una amenaza grave para el sistema extractivo 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.	La posibilidad 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 bajo	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo alto
La posibilidad 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.	La posibilidad 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 humano 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.	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, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo alto para el mismo.	La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa y erosión sugieren una baja posibilidad de que se puedan 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 el sistema minero, lo que teniendo en cuenta la vulnerabilidad del sistema minero la transforma en un riesgo medio para el mismo.	La posibilidad 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 medio para el mismo.	
Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo medio	

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

27.1.6 Matriz análisis de riesgos

En esta matriz se realiza la valoración de los riesgos calculados en la matriz anterior para determinar qué debe ser realizado con cada uno de ellos, basados en la centralidad sistémica de cada uno de los componentes y del valor de los riesgos como se ve en la Tabla 27-1.

Tabla 27-1 Matriz de valoración de riesgos

Centralidad sistémica componente	Componente Recursos Humanos	23,3	Controlar/reducir	Controlar/reducir	Evitar
	Componente Cadena de Suministro	23,3			
	Componente Extractivo	18,7			
	Componente Administrativo, Financiero	18,0			

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

Componente Transporte y Comercialización	18,0			
Componente Almacenamiento Temporal	12,0	Aceptar	Controlar/reducir	Evitar
Componente Beneficio y Transformación	10,5			
Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	4,1	Aceptar	Transferir	Transferir
Componente de Gestión Ambiental	4,0			
		$x < 0,49$	$0,49 > x < 0,99$	$x > 1$

Nivel de riesgo

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Al igual que en la hoja "Listado Riesgo", se presenta la valoración de los componentes sin discriminar entre las amenazas directas e indirectas.

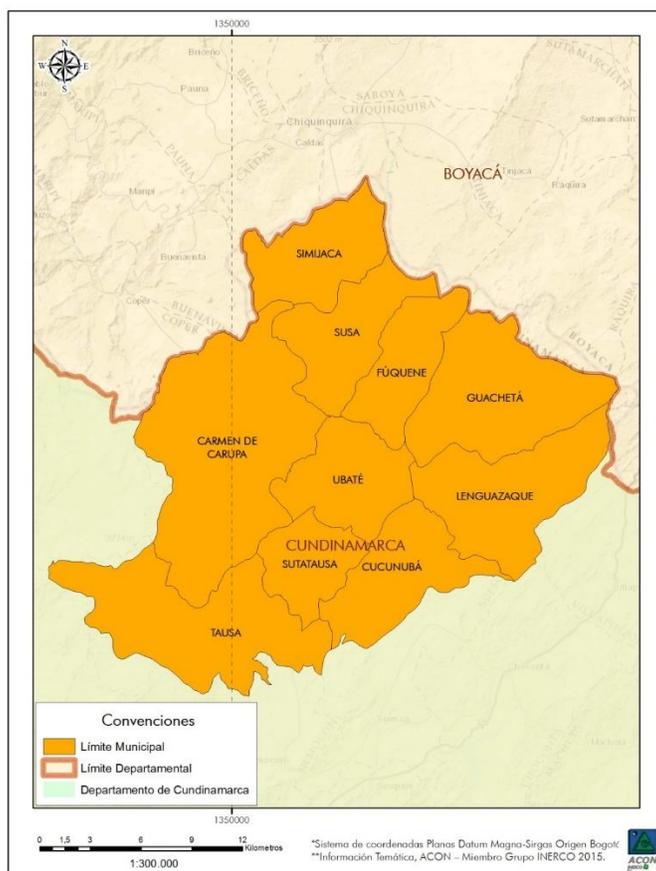
Implementación de Mapas de Ruta para la Adaptación del Sector Energético al Cambio Climático (incluyendo el uso de la Herramienta de Servicios Ecosistémicos) e identificación de Factores de Vulnerabilidad del Sector Minero y de Líneas Gruesas de Medidas de Adaptación

variabilidad climática identificadas para el sistema minero en cuestión, valoradas según su gravedad.

28. 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, 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 28-1).

Figura 28-1 Provincia de Ubaté

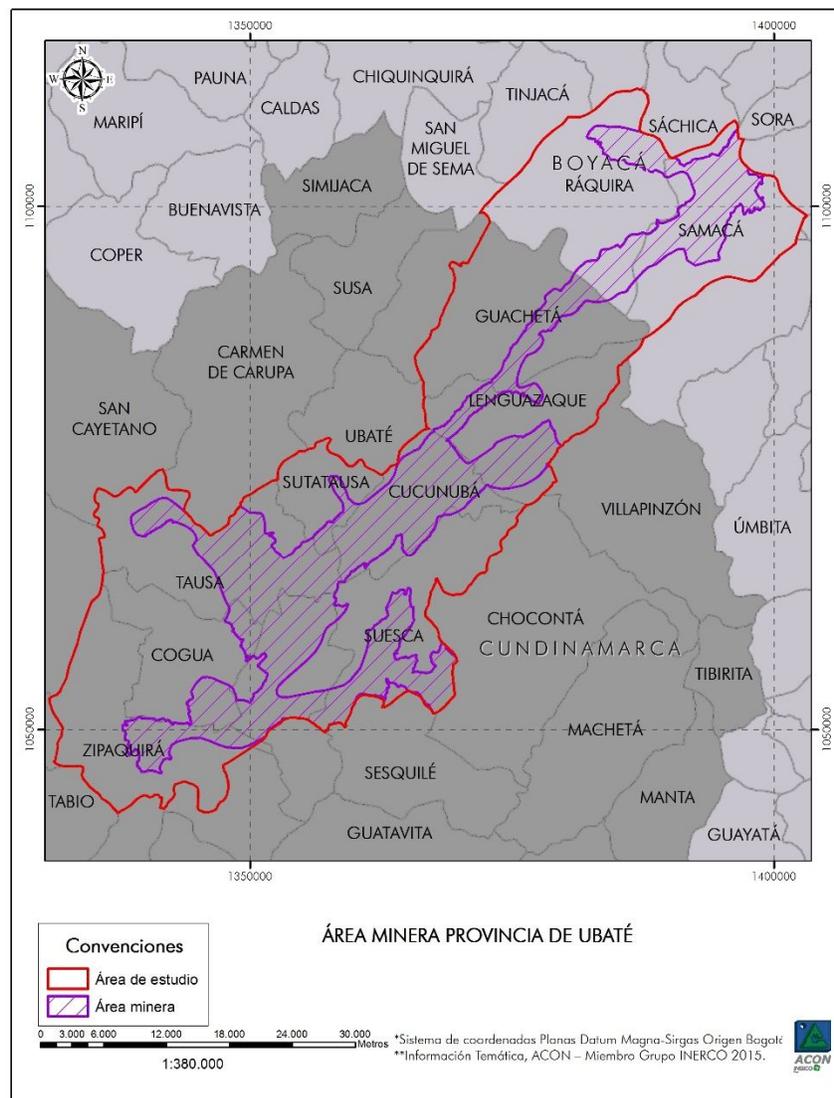


Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

29. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA MINERO DEL ÁREA DE UBATÉ

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

Figura 29-1 Área minera provincia de Ubaté



Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

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 comenzó a consumir carbón térmico al tiempo que una naciente industria siderúrgica, que en el siglo siguiente sería jalonada por la construcción ferroviaria, lo hacía con carbón metalúrgico de Samacá y posteriormente de Zipaquirá, Nemocón, Sesquilé y Tausa (UPME & Muñoz, 2007). En los años veinte comenzó la constitución de empresas carboneras en Lenguazaque y Guachetá donde los campesinos locales se capacitaban para más tarde abrir sus propias minas (Amortegui & Carvajal, 2006). Los siguientes consumidores importantes fueron Acerías Paz de Río fundada en 1954 y 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 en 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 de bajos ingresos para personal con bajos niveles de escolaridad, 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.

29.1 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 está caracterizada como carente de seguridad e higiene industrial, con muy bajo desarrollo tecnológico, abundantes conflictos sociales y legales, 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.

29.2 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.

La resistencia al uso de mascarillas de protección en condiciones secas incrementa la producción de partículas de polvo cuya inhalación por períodos superiores a 10 años es la causante de la llamada neumoconiosis de los mineros de carbón o enfermedad del pulmón negro (González, N. et. al., 2009). Estos autores resaltan que la exposición a polvos, humo y gases durante las jornadas laborales se ha relacionado con bronquitis crónica y disminución de la función pulmonar por efecto de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

29.3 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.

29.4 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, 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 monorraíles).

29.5 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.

29.6 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.

En Samacá existe una cooperativa transportadora que ofrece el servicio de envíos a centros de consumo y puertos.

29.7 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 (1672), Guachetá (467), Cucunubá (404), Tausa (374), Lenguaque (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).

29.8 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 enero, febrero, agosto y septiembre cuando ocurren los períodos secos.

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 coerción de la comunidad para enfrentar procesos de desarrollo provincial reportada por UPME & Muñoz (2007) es una debilidad de la región para soportar los fenómenos asociados al cambio climático.

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

Se considera que la provincia de Ubaté está entre las cuatro 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 de balance cero, es decir, cerca de entrar en déficit (CAR, 2006, pág. 65).

30. ESTIMACIONES DE EVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL ÁREA DE ANÁLISIS

El presente capítulo, tiene como objetivo la identificación de las principales amenazas que tendría el cambio climático y la variabilidad climática sobre las actividades mineras. Se hace la recolección de la información sobre los principales eventos naturales que han afectado la zona y que han sido inventariadas por las agencias durante la última ola invernal. Finalmente, se exponen las principales amenazas para la minería del carbón derivadas de posibles alteraciones ocasionadas por el aumento o disminución de la temperatura y precipitación.

30.1 Proyecciones de temperatura y precipitación para el área

Con las evidencias sobre el cambio climático a nivel nacional y mundial, el Instituto de Estudios Ambientales –IDEAM-, ha presentado una serie de estudios sobre este fenómeno, los cuales pretenden alertar a los diferentes municipios sobre las posibles condiciones de precipitación y temperatura que se podrían presentar durante el siglo XXI.

Con el propósito de estudiar estas proyecciones sobre la zona, se han escogido la segunda y tercera comunicación del IDEAM, además del Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá – Cundinamarca (PRICC), como escenarios de análisis para establecer dichas potenciales condiciones.

30.1.1 Segunda comunicación

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 para los periodos 2011-2040 y 2071-2100, 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 (Ver Figura 30-1 y Figura 30-2).

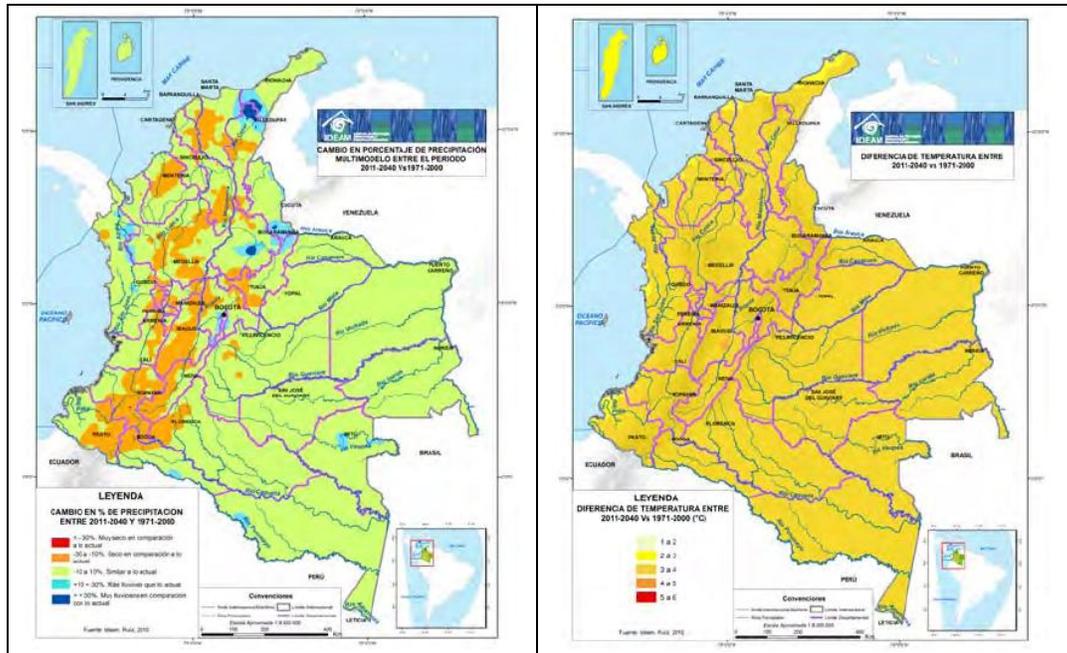
Aparentemente las condiciones de la provincia no eran críticas al ser comparadas con las proyectadas para el resto del país. Donde se proyectaba un descenso de la precipitación de mayores magnitudes.

Para la temperatura mínima, durante el periodo 2011-2040, se estimaba la disminución en un grado para la zona, mientras que para las máximas el aumento de un grado. Para el periodo

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

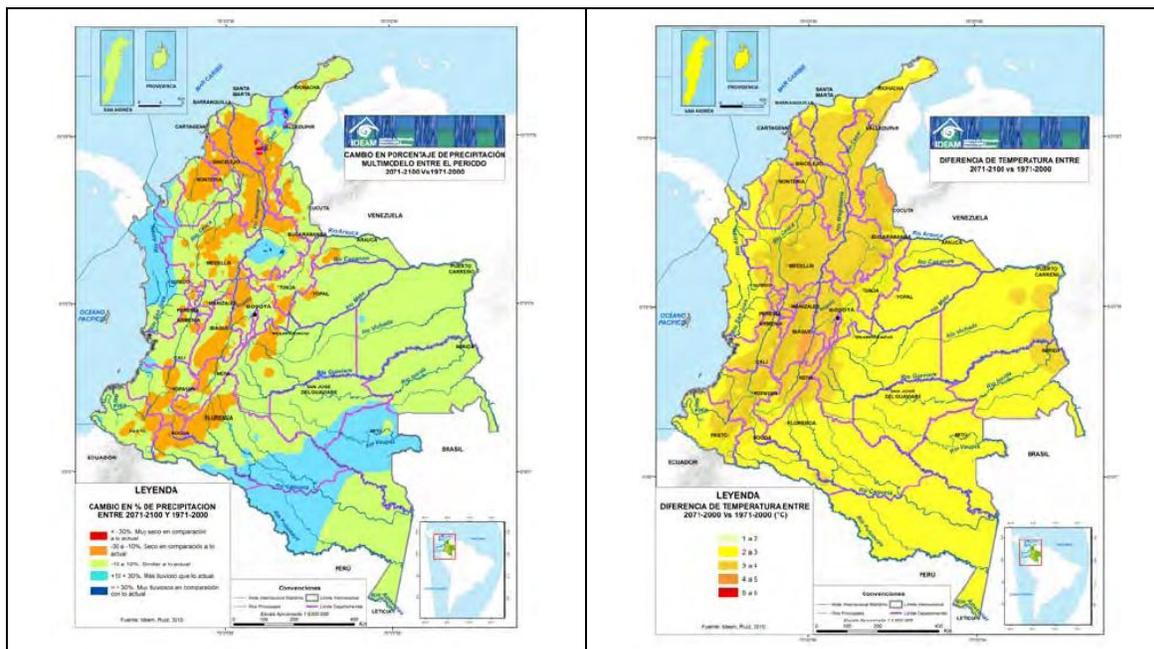
2070-2100, se estimaba un incremento en la temperatura mínima de 2 a 3°C y de 2 a 5 °C en la temperatura máxima.

Figura 30-1 Cambio en el porcentaje de precipitación y temperatura 2011-2040 Vs 1971-2000



Fuente: IDEAM, 2010.

Figura 30-2 Cambio en el porcentaje de precipitación y temperatura 2071-2100 Vs 1971-2000



Fuente: IDEAM, 2010.

30.1.2 Tercera comunicación

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.

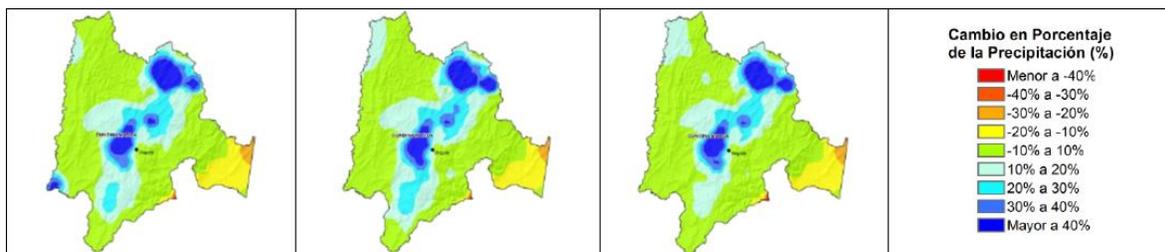
Dentro del análisis de la precipitación anual, para la zona de estudio durante el periodo 2011-2040, se esperan aumentos importantes en la precipitación, en línea con los aumentos esperados en la región andina entre el 10 % – 40 % y mientras que se proyectan disminuciones del orden del 10 % – 40 % en 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. 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.

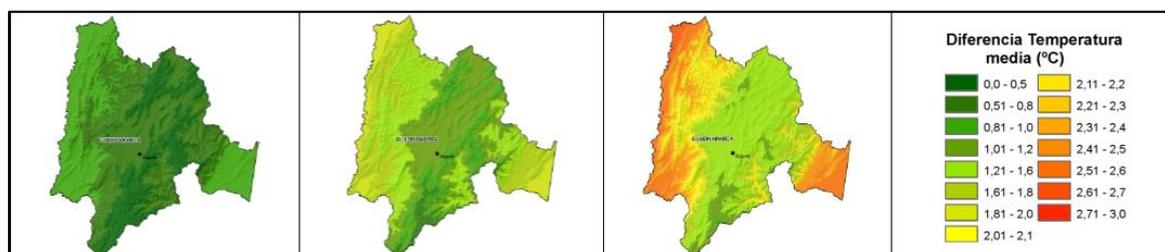
Las proyecciones esperadas para la provincia de Ubaté se pueden observar en la Figura 30-3 y Figura 30-4.

Figura 30-3 Cambio Precipitación Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100)



Fuente: IDEAM, 2015

Figura 30-4 Cambio Temperatura Cundinamarca, Tercera comunicación (Periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100)



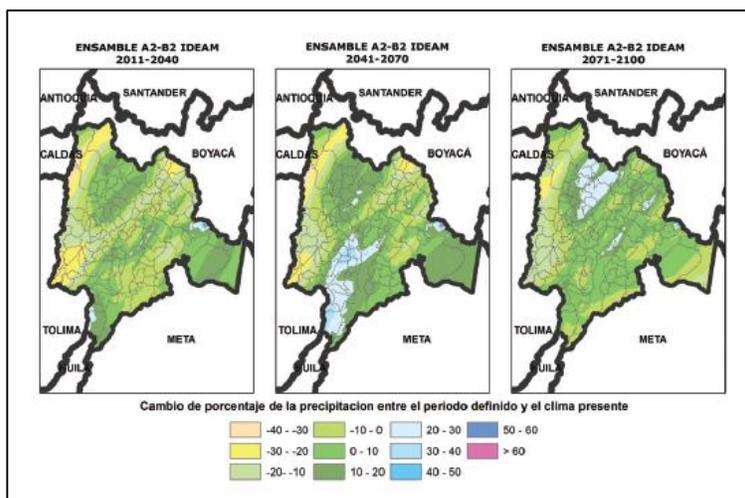
Fuente: IDEAM, 2015

30.1.3 Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá – Cundinamarca (PRICC)

Adicional a los escenarios elaborados por el IDEAM, la gobernación de Cundinamarca elaboró un estudio para analizar las implicaciones del Cambio Climático en la región. En términos generales, los escenarios de cambio climático desarrollados por el PRICC muestran una tendencia a la disminución de la precipitación (entre el 10 % y 20 %) en el occidente del departamento (hacia el valle del Magdalena) y algunos sectores del norte de la Sabana y el oriente (Ubaté, Almeidas, Guavio, especialmente para el periodo 2041-2070) (Ver Figura 30-5).

Con relación a la temperatura, se estima un aumento progresivo de la temperatura en todo el departamento, se esperaría un aumento en la temperatura promedio de entre 2 y 4°C, con respecto a la temperatura actual.

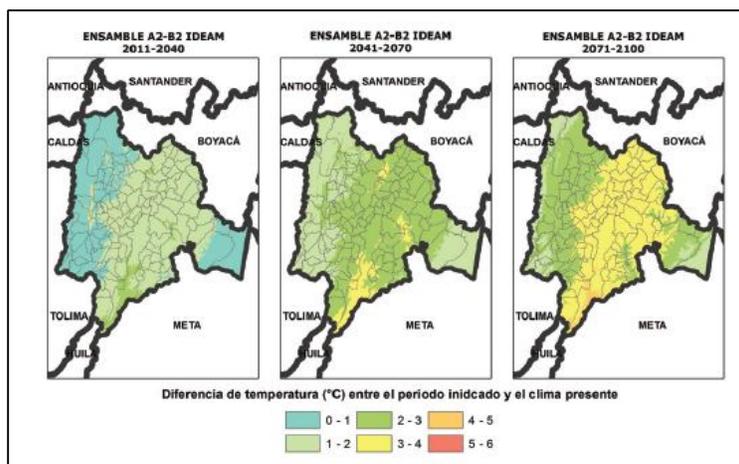
Figura 30-5 Cambios en la precipitación



Fuente: PRICC, 2013.

Se aplicó en el estudio el escenario RCP4.5, apoyados técnicamente por NASA y la Universidad de Columbia (EE.UU). El resultado muestra que para el periodo 2041-2070, se evidencia un progresivo aumento en la temperatura media mensual (Ver Figura 30-6), la cual puede llegar a ser de hasta 2-3°C. La tendencia muestra que la diferencia entre los rangos de las temperaturas extremas (máximas y mínimas) en 10 años puede estar en $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ y en 20 años de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Figura 30-6 Cambios en la temperatura



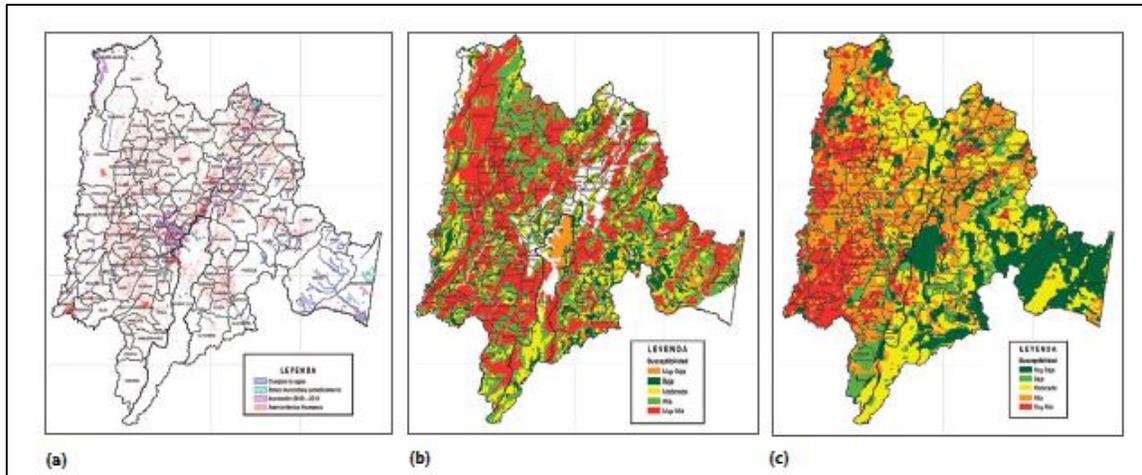
Fuente: PRICC, 2013.

De acuerdo a las modelaciones efectuadas por el PRICC, la provincia de Ubaté es una zona susceptible a la inundación, con respecto a las remociones en masa y la degradación del suelo, se observa alta vulnerabilidad en la mayor parte de Cundinamarca, y Ubaté no es la excepción. Mientras que para incendios forestales, la vulnerabilidad se concentra en los municipios de la ACON-Miembro Grupo INERCO

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

sabana de Bogotá y el occidente del departamento incluyendo la provincia de Ubaté (Ver Figura 30-7).

Figura 30-7 Mapas susceptibilidad a Inundaciones, Remoción en masa e Incendios Forestales



Fuente: PRICC, 2013.

31. 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 indicando 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 Capítulo 3, Fresh Water, pg. 235).

Por lo tanto, hay que tener presente que las proyecciones y escenarios planteados por cualquiera de las agencias o estudios especializados en el tema son limitados y sus resultados entendidos como asistencia a la toma de decisión en política pública o sectorial más que como predicciones del futuro. La aplicación o interpretación de los escenarios a regiones o cuencas específicas deben ser resultados de estudios más detallados.

Dentro de los impactos que se han detectado como virtualmente vaya a ocurrir y que son atribuibles con altísimo grado de certeza que ocurrirá durante el siglo XXI se encuentra el aumento en el nivel del mar (El carbón en la zona de Ubaté, a pesar de estar ubicada en el centro del país, tiene exportaciones marítimas, por lo tanto, el aumento del nivel medio del océano es considerado como una amenaza). También con altísimo grado de certeza que ocurra en el futuro se encuentra al aumento de los días y noches caliente en la superficie terrestre.

Con alto grado de certeza de ocurrencia en el futuro se encuentran la reducción de los recursos hidráulicos y la inestabilidad de las montañas, entendida como aumento en la remoción en masa. Los eventos de alta precipitación, son clasificados como de alta detección y de mediana certeza que se reproduzcan durante el futuro; sin embargo, es de aclarar que estas proyecciones aumentarían en algunas regiones y disminuirían en otras, no obstante, son más la regiones que sufrirían aumento que descenso.

Con relación a las sequías e inundaciones, las proyecciones indican que son eventos que se presentaría con una valoración de mediana certeza, para ambos impactos la ocurrencia y frecuencia del evento varía de acuerdo a la región, para las sequías se estima que su ocurrencia aumentaría en la mayoría de las regiones, para las inundaciones se indica que no hay una tendencia clara o que varía importantemente a nivel regional.

El incremento en la intensidad, y frecuencia de eventos hidrológicos extremos, como las inundaciones han sido atribuidos al (CC), sin embargo, para estimar una alteración de este tipo de fenómeno es necesario cuantificar las incertidumbres derivadas (IPCC, 2014, pág. 236)

Por otra parte, un evento amenazante relacionado con el Cambio Climático (CC) o Variabilidad Climática (VC) se podría definir como la probabilidad de la ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico potencialmente peligroso, bien sea para las personas, la producción, la infraestructura, los bienes o los servicios.

Para contextualizar esta definición al sector minería, se ha tomado 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, Abatimiento de niveles freáticos. A continuación se describen dichos fenómenos:

31.1 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 la temperatura tanto media como máxima, los valores esperados no alcanzan a ser incapacitantes para la actividad de extracción.

31.2 Heladas

Las 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. Fenómeno muy común en las zonas de altitud mayor a los 2500 msnm, la provincia de Ubaté, por su ubicación geográfica presenta y se estima seguirá presentando este tipo de fenómeno 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.

31.3 Vendavales

Cuando se presentan modificaciones en la temperatura y presión de los sistemas meteorológicos, es posible la presencia de vendavales, que se define como ráfagas de viento que afectan un área en particular con velocidades que oscilan entre 50 y 80 kph en un intervalo corto de tiempo¹¹. 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 cual 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.

31.4 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 (Sánchez s.f.). 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 la posterior reducción de la capacidad hidráulica de las corrientes.

¹¹ De un lado 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, y se caracteriza por movimiento de árboles, caminar en contra del viento es dificultoso, etc. Luego siguen los Temporales, los cuales ocasionan rompimiento de las ramas de los árboles (62 km/h), Temporales fuertes, hasta 86 km/h, ocasiona desperfecto en partes salientes de edificios, levantamiento de tejas y derribo de chimeneas.

31.5 Avenidas Torrenciales (crecientes súbitas)

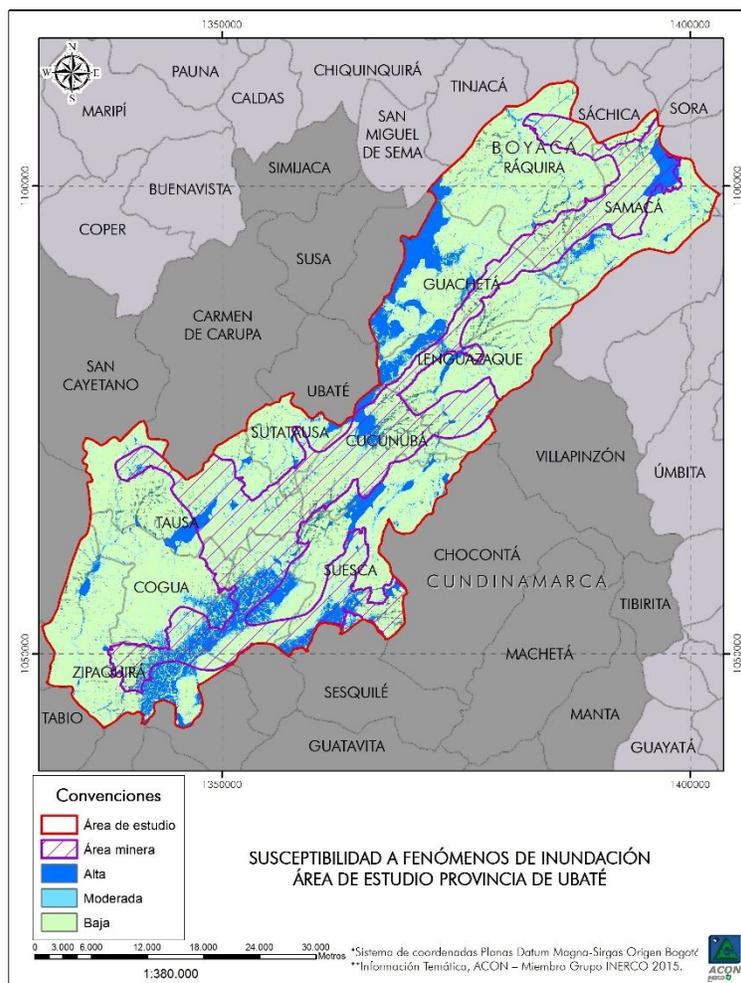
Las afectaciones debidas a crecientes súbitas dependen en gran medida a las condiciones naturales de la cuenca y la intensidad de la precipitación. Estas circunstancias afectarían las operaciones mineras que cuentan con bocatomas para el abastecimiento de las actividades que demanden agua. Dentro de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

31.6 Inundaciones

De acuerdo al IPCC, este tipo de fenómeno varía regionalmente, o no presenta una tendencia clara por eso es clasificado 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 Provincia de Ubaté, 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, es un evento que daña principalmente el transporte, ya que las inundaciones afectan importantemente las vías de acceso a las minas por periodos de varios días.

Figura 31-1 Susceptibilidad a fenómenos de inundación en el área de estudio provincia de Ubaté



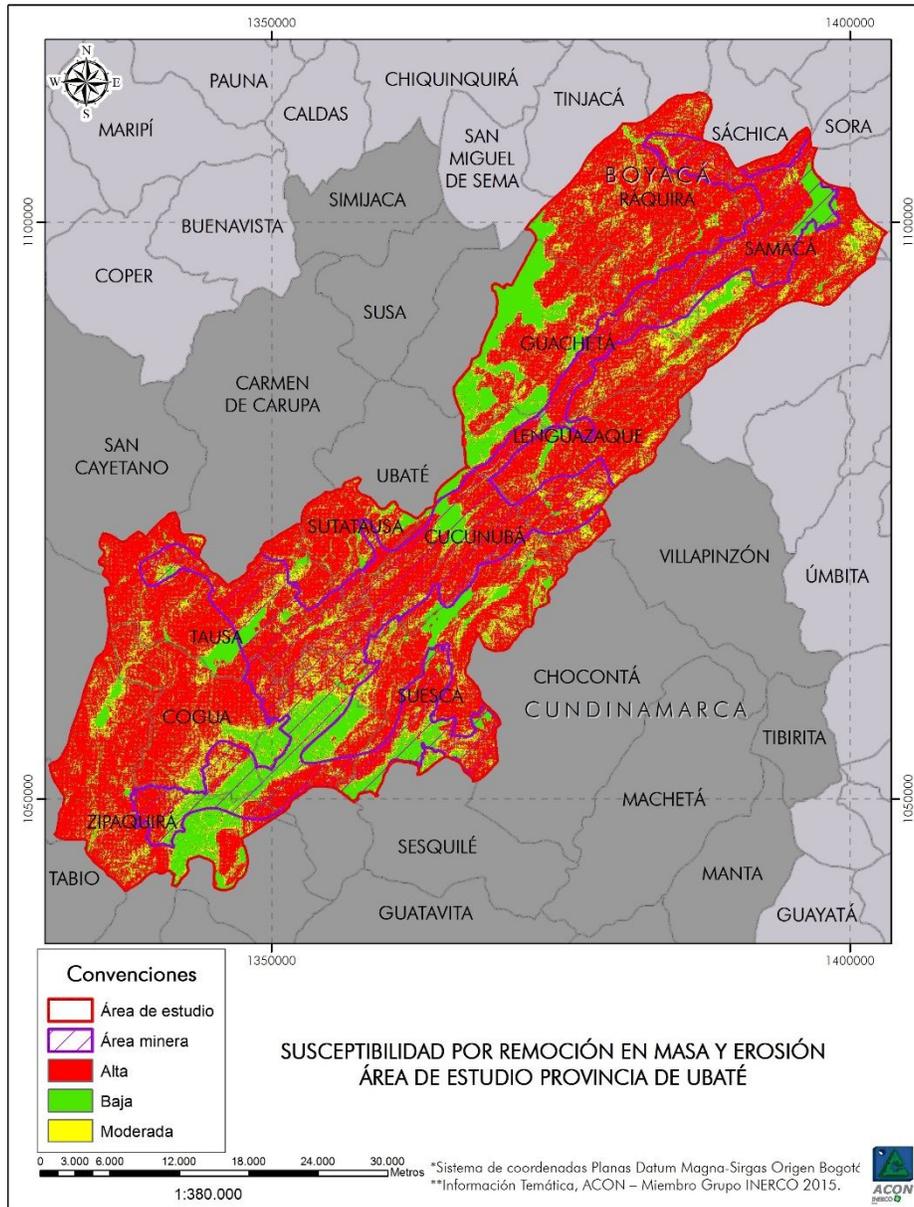
Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

31.7 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 vería incrementado en términos generales con alto grado de ocurrencia, y debido a la influencia antropogénico como a eventos hidroclimatológicos desencadenados por efectos del Cambio Climático.

Figura 31-2 Susceptibilidad por remoción en masa y erosión área de estudio provincia de Ubaté



Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

De acuerdo con La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, durante el periodo 1999-2015, se han presentado 4 eventos de deslizamiento. Sin embargo, durante las entrevistas efectuadas en la zona de estudio este evento es más frecuente, y afectan tanto vías de comunicación, como conducciones.

31.8 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 de 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 reducciones en 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, pero con tendencia al incremento de la intensidad y magnitud en la mayoría de las regiones, se tiene proyectado que este fenómeno 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.

31.9 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 et al., 2011), sin embargo, es necesario tenerla en cuenta para las regiones proyectadas con alteraciones importantes de precipitación y con intervenciones poco controladas del subsuelo.

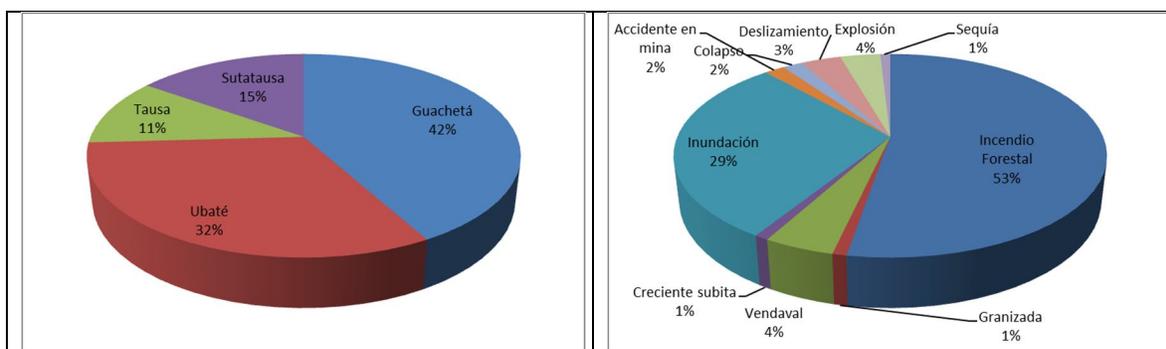
Como se plantea en la tercera comunicación del IDEAM sobre cambio climático, la zona de Ubaté presentaría condiciones de aumento de precipitación, lo cual incrementaría el flujo subterráneo, aumentando posiblemente las condiciones del bombeo requerido en los túneles.

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

Con respecto a las inundaciones, se indicó que es un fenómeno muy frecuente en la región, y el que más impacta la minería, especialmente afecta las vías de comunicación con niveles que perturba el tránsito normal de los vehículos.

En la Figura 31-3, 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 31-3 Inventario de eventos reportados



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

32. CONCLUSIONES SOBRE SUBEVENTOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL AREA DE ANALISIS

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

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

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 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 3ª Comunicación Nacional.

Remociones en masa:

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 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 3ª Comunicación Nacional.

Cambios en el comportamiento volumétrico del suelo:

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 %). Referencias históricas puntualmente documentadas señalan una cierta sismicidad en la ocurrencia 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 3ª Comunicación Nacional.

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

Sequía:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3ª 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 puntal en términos espaciales y temporales. Todo ello sugiere que 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 3ª Comunicación Nacional.

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 como un evento de muy posible ocurrencia.

- Se alcanzan las siguientes conclusiones respecto a la ocurrencia de posibles subeventos amenazantes asociados a la variabilidad climática:

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 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.

Oleadas de Calor:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3ª 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 incrementar el nº 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 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 3ª Comunicación Nacional.

Heladas:

Los resultados que arrojan los escenarios de cambio climático de la 3ª 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 incrementar el nº 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 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 3ª Comunicación Nacional.

33. 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 para tal fin y que permite analizar de forma independiente el grado de injerencia de cada subevento con cada uno de los componentes del sistema minero.

33.1 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 de forma 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.

33.2 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, constituyendo 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), lo que constituye una **amenaza para el entorno del sistema minero**.

33.3 Subevento comportamiento volumétrico del suelo

La posibilidad de hayan 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, constituyendo 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**.

33.4 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 y un debilitamiento de las estructuras por incremento en la fuerza del oleaje, lo que supone una amenaza **para el componente de transporte y comercialización**.

33.5 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**.

33.6 Subevento heladas

- La probabilidad de que se produzcan heladas sugiere **una mediana posibilidad** de afectación a la agricultura en la región, principalmente 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**.

33.7 Matriz de Amenazas Indirectas

A partir de la identificación de las amenazas directas para cada uno de los componentes del sistema minero, se determinaron las indirectas utilizando la herramienta diseñada para tal fin que expone las primeras ante cada componente.

33.8 Componente administrativo y financiero

- La probabilidad de procesos de contaminación de fuentes de suministro hídrico asociados con 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 afección a este componente vía mayores costos de personal.
- La eventualidad de afectación por ocurrencia de fenómenos de inundaciones sobre 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
- La probabilidad de efectos por procesos denudativos sobre el componente extractivo sugiere una **baja posibilidad** de afección 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 afección 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 afección 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 afección 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 afección al componente administrativo y financiero dado la imposibilidad de transportar las mercancías vendibles.

33.9 Componente recursos humanos

- La probabilidad de afectación por ocurrencia de fenómenos de inundaciones sobre el componente extractivo sugiere una **alta posibilidad** de afección 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 afección 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 afección al componente recursos humanos debido al incremento de la accidentalidad por desplome del techo del túnel.

La probabilidad de afectación asociada a elevación del nivel del mar sobre 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.

33.10 Componente cadena de suministro

La probabilidad de afectación por bloqueo (inundaciones y procesos denudativos) vías de transporte sobre el 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.

33.11 Componente beneficio y transformación

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

33.12 Componente gestión ambiental

La probabilidad de efectos por erosión en las pilas de acopio sobre 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.

33.13 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.

34. VALORACIÓN DE LAS AMENAZAS DIRECTAS E INDIRECTAS

A continuación se recogen los resultados de ponderar las amenazas identificadas según su grado de posibilidad, ya señalado anteriormente en cada una de ellas, y su potencial de daño, que se puede comprobar en el Excel adjunto, y de acuerdo a lo señalado en el capítulo metodológico. Ello da lugar a una cualificación de la gravedad de cada una de las amenazas identificadas, que se recoge a continuación.

Se presentan las amenazas situando en primer lugar las directas y luego las indirectas derivadas de las primeras:

- 1ª 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.

- 2ª 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.

- 3ª 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.

- 4ª 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 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.

- 5ª 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.

- 6ª 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.

- 7ª 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.

- 8ª 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.

- 9ª 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.

- 10ª 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.

- 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.

- 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.

- 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.

35. CALCULO DE RIESGOS

Las amenazas han sido caracterizadas en función de su gravedad. Al seguir la fórmula del análisis de riesgos se han multiplicado por el valor de vulnerabilidad estimado para el sistema minero. A continuación se recogen los datos utilizados y las tablas de resultado tanto del índice de sensibilidad como del de capacidad de adaptación:

Tabla 35-1 Índice de sensibilidad de cada tipología minera del sistema minero analizado

Índice de sensibilidad del sistema minero							
Tipos de minería		Gran minería		Mediana minería		Pequeña minería y de subsistencia	
Variables	Ponderación variable	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado
Recursos institucionales	0,2	1	0,2	1	0,2	0,25	0,05
Recursos directivos	0,2	1	0,2	0,4	0,08	0,2	0,04
Recursos técnicos	0,25	0,8	0,2	0,35	0,0875	0,15	0,0375
Recursos de calidad	0,15	0,6	0,09	0,3	0,045	0,5	0,075
Recursos de materiales	0,2	0,95	0,19	0,5	0,1	0,2	0,04
Verificación	1		0,88		0,5125		0,2425
Índice sensibilidad segmento			0,88		0,5125		0,2425
Presencia relativa segmento en Sistema Minero			0		0,2		0,8
Índice sensibilidad sistema Minero					0,1025		0,194

Fuente: ACON, miembro Grupo INERCO, 2015.

Tabla 35-2 Índice de capacidad de adaptación de cada tipología minera del sistema minero analizado

Índice de capacidad de adaptación del sistema minero							
Tipos de minería		Gran minería		Mediana minería		Pequeña minería y de subsistencia	
Variables	Ponderación variable	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado
Recursos financieros: Índice de rentabilidad de la empresa minera	0,3	0,8	0,24	0,6	0,18	0,4	0,12
La existencia y calidad de su dirección y gestión técnica/ recursos tecnológicos	0,3	1	0,3	0,5	0,15	0,2	0,06
Disponibilidad de recursos materiales	0,2	0,8	0,16	0,4	0,08	0,3	0,06
Disponibilidad de recursos humanos capacitados	0,2	0,6	0,12	0,4	0,08	0,2	0,04
Verificación	1		0,82		0,49		0,28

Índice de capacidad de adaptación del sistema minero							
Tipos de minería		Gran minería		Mediana minería		Pequeña minería y de subsistencia	
Variables	Ponderación variable	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado	Presencia relativa	Valor ponderado
Capacidad adaptación segmento	1		0,82		0,49		0,28
Presencia relativa segmento minero en Sistema Minero			0		0,2		0,8
Índice capacidad adaptación sistema Minero					0,098		0,224

Fuente: ACON – Miembro Grupo INERCO, 2015.

El índice de vulnerabilidad del sistema como un todo se obtiene de cruzar las dos variables consideradas como se señala en la Figura 27-4. De acuerdo a ésta, el índice de vulnerabilidad en este sistema minero es ALTO.

A partir de esto 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 costes 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

públicas (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 35-3 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.

36. ANÁLISIS DE RIESGO

Como se ha señalado en el capítulo respectivo, los riesgos son sometidos a un análisis para definir la modalidad de gestión más adecuada, de acuerdo a la matriz recogida en la Tabla 36-1 Matriz de gestión de riesgos.

Tabla 36-1 Matriz de gestión de riesgos

Centralidad sistémica componente	Componente Recursos Humanos	23,3	Controlar/reducir	Controlar/reducir	Evitar
	Componente Cadena de Suministro	23,3			
	Componente Extractivo	18,7			
	Componente Administrativo, Financiero	18,0			
	Componente Transporte y Comercialización	18,0			
	Componente Almacenamiento Temporal	12,0	Aceptar	Controlar/reducir	Evitar
	Componente Beneficio y Transformación	10,5	Aceptar	Transferir	Transferir
	Componente entorno social, ambiental y de gobernabilidad	4,1			
	Componente de Gestión Ambiental	4,0			
				$x < 0,49$	$0,49 > x < 0,99$

Nivel de riesgo

Fuente: ACON – Miembro Grupo INERCO, 2015

A continuación se recogen los resultados respectivos por componente:

Componente Administrativo, Financiero

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, y según su vulnerabilidad, la convierte en un riesgo bajo para el mismo.

Controlar/Reducir

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 a una

amenaza secundaria para el sistema minero, y de acuerdo a su vulnerabilidad, la transforma en un riesgo bajo para el mismo.

Controlar/Reducir

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 costes energéticos con un alto potencial de daño. En síntesis, sería una amenaza grave para el sistema minero, lo que la transforma en un riesgo alto para el mismo, según su vulnerabilidad.

Evitar

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.

Controlar/Reducir

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.

Controlar/Reducir

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.

Controlar/Reducir

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.

Controlar/Reducir

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.

Evitar

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.

Evitar

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.

Evitar

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.

Evitar

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.

Controlar/Reducir

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.

Evitar

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.

Controlar/Reducir

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.

Controlar/Reducir

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.

Evitar

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.

Evitar

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.

Evitar

Componente Extractivo

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 viabilidad 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 trasforma en un riesgo alto para el mismo.

Evitar

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 trasforma en un riesgo alto para el mismo.

Evitar

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 trasforma en un riesgo bajo para el mismo.

Controlar/Reducir

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 trasforma en un riesgo alto para el mismo.

Evitar

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.

Evitar

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.

Aceptar

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.

Evitar

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.

Evitar

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.

Transferir

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.

Transferir

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.

Transferir

La probabilidad de fenómenos de remoción en masa sugiere que con altas 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.

Transferir

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.

Aceptar

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.

Aceptar

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.

Aceptar

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.

Aceptar

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2015). Producción Fiscalizada de Petróleo por Campo Enero-Diciembre 2014. Bogotá.
- Agronet. (2011). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Bogotá: Agronet.
- Alcaldía de Medellín. (2011). *Vigilancia epidemiológica de las enfermedades transmitidas por vectores: dengue, leishmaniosis y malaria*. Medellín. Obtenido de: <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Salud/Secciones/Indicadores%20y%20Estad%3%ADsticas/Documentos/2011/Bolet%3%ADn%20Epidemiol%3%B3gico%20Sivigila/Boletines%202010/Bolet%3%ADn%20>
- Alcaldía de Villavicencio. (2000). *Documento técnico de soporte al plan de ordenamiento territorial del municipio de Villavicencio: Norte 2000 - 2007*. Informe técnico, Alcaldía Municipal de Villavicencio, Villavicencio. Obtenido de: http://www.curaduria2villavicencio.com/wp-content/uploads/documento_tecnico.pdf.
- Alcaldía de Villavicencio. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal de Villavicencio 2012-2015*. Villavicencio.
- Alcaldía de Villavicencio. (2013). *Plan de ordenamiento territorial Norte: Síntesis diagnóstica*. Secretaría de Planeación Municipal de Villavicencio., Villavicencio. Obtenido de: <file:///C:/Users/JH/Downloads/Sintesis%20Diagnostica%20POT%20NORTE%20Villavicencio%20Marzo%2025-2013.pdf>.
- Alcaldía Municipal Castilla La Nueva. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015*. Castilla La Nueva.
- Alcaldía Municipal de Acacías. (2007). *Agenda Ambiental Municipio de Acacías 2006-2018*. Acacías.
- Alcaldía Municipal de Acacías. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 "La decisión correcta"*. Acacías.
- Alcaldía Municipal de Cáceres. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 "De la mano del pueblo"*. Cáceres: Alcaldía Municipal de Cáceres.
- Alcaldía Municipal de Guamal. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 "Recuperemos el Guamal que tuvimos"*. Guamal.
- Alcaldía Municipal de Nechí. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 "Nechí una sola familia"*. Nechí: Alcaldía Municipal de Nechí.
- Amortegui, L., & Carvajal, G. (4 de agosto de 2006). *Archivos de Economía N° 314: Propuesta de una iniciativa de cluster. El caso del cluster del carbón del norte de Cundinamarca, 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/produccionnacional>
- 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.
- 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 Heraldo*. Obtenido de <http://www.elheraldo.co/economia/produccion-de-drummond-la-mas-afectada-por-inviernos-ingeominas-23421>
- 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*, ACON-Miembro Grupo INERCO Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)-0580-112-V.001-diciembre/2015

- 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>.
- 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>
- 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.
- 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://javierfierro.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.
- 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>
- 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).

- 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.
- 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.
- 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>
- 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>.
- 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. (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>
- 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).
- 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>
- Macdonald-Smith, A. (10 de febrero de 2004). Coal exports get caught in shipping traffic jam. *Fairfax digital*. Obtenido de <http://www.theage.com.au/articles/2004/02/09/1076175101718.html?from=storyrhs>
- 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/>
- 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=OCBLMjONx3M=&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&](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&](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/>
- 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.
- 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/O/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.
- 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>.
- 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>
- 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/enviornment/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.
- 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>
- 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*
- ACON-Miembro Grupo INERCO Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)-0580-112-V.001-diciembre/2015

- Mitigation Opportunity Assessment. Skills for the Carbon Challenge Program. DIICCSRTE and ANU.* Obtenido de <http://sustainability.edu.au/material/teaching-materials-document/315/download/>
- 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.
- 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, & 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_Versio_n_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.
- Wikipedia. (Junio de 2015). *Riesgo, Definición*. Obtenido de Wikipedia, La Enciclopedia Libre: <https://es.wikipedia.org/wiki/Riesgo>
- Yang, D., Kanae, S., Oky, 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>

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

ANEXOS

Anexo 1 Mapas

Anexo 2 Matriz Amenazas