

Riesgos operacionales en proyectos de minería subterránea

Recibido: 15 Feb 2016 – Revisado: 30 Abr 2016
Aceptado: 30 May 2016 – Publicado: 30 Jul 2016

María Eugenia Guerrero Useda
Investigadora, Universidad El Bosque,
Carrera 7b Bis 132-11, Bogotá, Colombia.
mguerrerou@unbosque.edu.co



Resumen: El proyecto del que se derivó este escrito buscó construir una matriz de riesgos operacionales en empresas con proyectos mineros localizados en la región andina colombiana. Siguiendo un enfoque metodológico mixto que combinó investigación documental, observaciones in situ y análisis semicuantitativo, fueron establecidos algunos de los eventos operacionales altamente probables y de consecuencias nefastas sobre la contabilidad de las empresas, la salud ambiental y el patrimonio nacional. A los riesgos operacionales, definidos desde Basilea II como los que generan pérdidas por eventos externos y por fallos en los procesos, personal y sistemas internos, se atribuye la mayor incertidumbre sobre los objetivos fijados por las empresas mineras. Con todo, el análisis de riesgo en las grandes empresas de este sector, lejos de estimar los eventos con pérdida de vidas humanas y de biodiversidad, se enfoca al tratamiento de factores que impiden operar bajo el esquema 24/7/365; así, se relega a un segundo plano factores asociados a la salud y seguridad de las personas y de los ecosistemas involucrados en sus proyectos. Además de los peligros a los que se exponen los mineros por trabajar en atmósferas explosivas, espacios confinados, con techos y pisos frágiles, ambientes oscuros, altas temperaturas y aire impuro, los contaminantes físicos y químicos generados durante la exploración y la extracción deterioran la salud de los mineros por daños auditivos, daños en el sistema nervioso, alergias, enfermedades en las vías respiratorias, silicosis y cáncer de pulmón. Como si fuera poco, la acumulación de residuos peligrosos en diques de colas y presas de almacenamiento impactan negativamente los cuerpos de agua, el aire y los suelos, generan pobreza hídrica y pérdida de la biodiversidad. De cara a este escenario, cabe preguntarse: ¿es justo transferir tales riesgos a las comunidades que habitan los territorios mineros?

Palabras clave: Análisis de riesgo, matriz de riesgo, riesgo operacional, minería subterránea.

Abstract: The project of which this paper was derived, sought to build an array of operational risks in companies with mining projects located in the Colombian Andes. Following a mixed methodological approach that combined documentary research, in situ observations and semi quantitative analysis they were established and probable negative consequences on business accounting, environmental health and heritage operational events. For operational risk, Basel II as defined from the losses generated by external events and failures in processes, personnel and internal systems, attributed the increased uncertainty about the objectives set by the mining companies. Yet risk analysis in large companies in this sector, far from the events estimate loss of life and biodiversity, treatment focuses on factors that prevent 24/7/365 operate under the scheme, relegating to level factors associated with the health and safety of people and ecosystems involved in its projects. In addition to the dangers that miners are exposed by working in confined spaces, ceilings and floors fragile, dark environments, high temperatures and impure air; physical and chemical pollutants generated during the exploration and extraction, impair the health of miners hearing damage, damage to the nervous system, allergies, respiratory diseases, silicosis and lung cancer. As if that were not enough, the accumulation of hazardous waste in tailings dams and reservoirs, adversely impacting water bodies, air and soil, water generated poverty and biodiversity loss. Is it fair to transfer such risks to the communities living in mining areas?

Keywords: Coal mine, Operational Risk; Uncertainty, Underground mining.

1. INTRODUCCIÓN

Como estrategia para el crecimiento económico, el Gobierno colombiano se empeñó en dinamizar la actividad minera a lo largo de la geografía nacional. Si bien en territorios de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, la extracción de oro, piedras preciosas, metales y arcillas se desarrolla desde tiempos precolombinos; se observa que con la expansión de esta industria, se elevó el récord de eventos con desenlaces fatales sobre las personas y el ambiente. La Unidad de Planeación Minero Energética constató que para el 2013, en faenas mineras de estos departamentos, se presentó el mayor número de emergencias y fatalidades.

Los incidentes con desenlaces funestos sobre las personas y el entorno se repiten en minas de todo el mundo. De ahí que las empresas con proyectos mineros estén conminadas a implementar sistemas de prevención de riesgos que consideren factores asociados a las personas, los procesos y los sistemas, que de conformidad con Basilea II, son los riesgos operacionales que incluyen los riesgos legales, excluyendo los riesgos de crédito, de mercado, de liquidez, de negocio, de proyecto, el riesgo estratégico y de pérdida de reputación.

El panorama de seguridad en las labores mineras no es nada alentador para Colombia, donde además de la fatalidad, por prácticas inadecuadas, se está reduciendo la biodiversidad, considerada patrimonio nacional (Artículo 1 de la Ley 99 de 1993). El V Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica alertó sobre la deforestación y degradación del bosque, la disminución de la disponibilidad del agua y el aumento de aguas ácidas por labores de minería, impactos que son más severos en los territorios que son escenario del conflicto armado, donde se ha extendido la minería no regularizada y la minería ilegal.

2. ANTECEDENTES

Aparte de los factores de riesgo que afectan en general a las empresas mineras como los relacionados con las fluctuaciones de los precios, la inflación, el acceso a capital y la pérdida de productividad y rentabilidad.

Durante las últimas décadas se observa que incluso en los países menos desarrollados, estas empresas enfrentan mayores dificultades para recibir licencias sociales, acceder al agua y la energía demandada para la operación, satisfacer las exigencias legales y certificar prácticas amigables con el ambiente.

Aun así, a países como Colombia siguen llegando empresas con proyectos de exploración y explotación minera licenciados por el Estado, fenómeno que suscita varios interrogantes, como por ejemplo la existencia de capacidades locales de las instituciones públicas y de las comunidades para estimar la dimensión de los impactos que pueden tener las operaciones mineras sobre la huella de carbono, la pobreza hídrica, la pérdida de biodiversidad y la salud pública.

Buscando comprender las lógicas que guían el control, tratamiento y transferencia de los riesgos operacionales en proyectos de minería subterránea, se encontró que Colombia apenas está en el camino de construir bases de datos en los que se listen, describan y categoricen los sucesos a los que está expuesta una labor de minería subterránea; varios, determinados por la localización de la faena: geografía del territorio, situación social y cultural, existencia de conflicto y criminalidad, por citar algunos.

Frente a este escenario, conviene estudiar el riesgo operacional de la minería en Colombia, y más específicamente, el riesgo operacional en labores de minería subterránea en territorios de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, en los que se concentra un gran número de minas y de cara al cambio climático, se avizoran escenarios críticos.

En la práctica, la gestión de los riesgos operacionales en las empresas mineras se orienta a reducir la incertidumbre sobre el rendimiento futuro del negocio, disminuyendo al mínimo las sorpresas, los costos y las pérdidas que generan las interrupciones de actividades unitarias.

La revisión de la matriz de riesgos relacionados con el desarrollo de proyectos mineros de algunas de esas empresas mostró mayor preocupación por los eventos de riesgo que pueden afectar negativamente los resultados de las operaciones y la rentabilidad de la empresa, la necesidad de destinar más recursos a los estudios de viabilidad, la incertidumbre en los estudios de viabilidad, la vulnerabilidad ante las limitaciones de infraestructura y, finalmente, la inseguridad jurídica que genera la tendencia que hay en los países donde se localizan los proyectos extractivos, por hacer más estrictas las leyes y regulaciones de salud y seguridad.

Las empresas mineras cada vez están más obligadas a demostrar la implementación de operaciones amigables con el entorno, demostrar que proporcionan beneficios ciertos a las comunidades afectadas so pena de perder la licencia social para operar e incluso a competir con la pequeña minería artesanal. Entre tanto, el panorama de riesgos y los accidentes en minas de oro y carbón localizadas en diferentes puntos de la geografía colombiana podría indicar desde una muy débil institucionalidad minera hasta la prevalencia de prácticas y procesos pobremente protocolizados, e incluso la falta de cultura de autocuidado de parte de los mineros.

El análisis causal y el levantamiento de matrices de riesgo seguramente aportarán información para comprender este panorama.

Tabla 1. Eventos de explosión en minas subterráneas de carbón (Colombia, enero a agosto de 2015). Elaboración del autor con referencia en datos de la Agencia Nacional de Minería (ANM).

Fecha	Lugar	Condición insegura	Trabajadores muertos	Factor
25/08/2015	Mina San Patricio - Socha Boyacá	Acumulación de gas metano	4	Personas - Procesos
2/07/2015	Vereda Chorrera - Samacá Boyacá	Acumulación de gases	5	Personas - Procesos
21/05/2015	Vereda Pirgua - Tunja Boyacá	Acumulación de gases	1	Personas - Procesos
21/01/2015	Amagá - Antioquia	Acumulación de gas metano	4	Personas - Procesos

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso general de gestión de riesgo y las definiciones estandarizadas en la norma NTC-5254 determinaron la lógica de la investigación adelantada, de tal forma que se estableció como contexto el de las empresas con proyectos de minería subterránea localizados en la región andina que gestionan y operan proyectos exploratorios y extractivos dentro de la institucionalidad minera colombiana y se procedió a determinar eventos de pérdida, su probabilidad de ocurrencia, impacto y criticidad .

Para identificar y analizar los riesgos operacionales, se aplicaron pautas del Consejo Colombiano de Seguridad y buenas prácticas para la gestión de riesgo, como es el caso de la minería australiana de carbón y la herramienta RISKGATE .

Tabla 2. Las explosiones como eventos multicausales de riesgo operacional en minería subterránea. Elaboración del autor con referencia en alertas de seguridad de la Agencia Nacional de Minería.

Factor determinante	Causa básica / inmediata	Condición de riesgo	Evento
Personas	Exceso de confianza	Atmosfera explosiva	Explosión por acumulación de gas
Procesos	Falta de protocolos de control	Atmosfera explosiva	Explosión por acumulación de gas
Sistemas	Fallas en el sistema de ventilación	Atmosfera grisutuosa	Explosión por acumulación de gas
Externos	Corte en suministro de energía	Atmosfera grisutuosa	Explosión de metano

4. RESULTADOS

Se revisaron bases de datos públicas e informes de prensa para establecer un listado básico de eventos de riesgo operacional con pérdida de vidas humanas, pérdida de biodiversidad y pérdida de salud ambiental. Se encontró mayor documentación sobre accidentes con desenlaces mortales relacionados con explosiones, intoxicación por inhalación de gases tóxicos, derrumbes e inundación de minas. Enseguida, se procedió al análisis causal de tales eventos y a establecer los factores desencadenantes.

La documentación de eventos de pérdida de biodiversidad, como es el caso del desplazamiento de especies faunísticas, perturbación y extinción de fauna terrestre, la alteración de los recursos hídricos y el deterioro de la calidad del agua, es menos extensa y debe ser objeto de un análisis más pormenorizado, lo

que da lugar a que se diseñen y desarrollen estudios futuros. Ya que un tipo crítico de evento de riesgo operacional es el relacionado con los accidentes de trabajo con pérdida de vidas humanas, se priorizó el análisis de esta tipología. A continuación, se describen los eventos más frecuentes y calamitosos.

4.1. Riesgo asociado al trabajo en atmosferas explosivas y grisutuosas

En Colombia, sin depender del grado de sofisticación tecnológica ni de la condición de legalidad de la faena de minería subterránea, las explosiones siguen siendo el tipo de evento fatal más calamitoso. Así, según se evidencia en la Tabla 1, después de completarse el triángulo desencadenante de la explosión –concentración peligrosa de gases, altas temperaturas y exposición de una chispa o llama–, en cada evento de explosión ocurrido en los primeros meses del 2015 en minas subterráneas de carbón de Boyacá y Antioquia, perdieron la vida en promedio tres trabajadores.

Si bien, los reglamentos de seguridad en labores subterráneas, por ejemplo el Decreto 1335 de 1987, establecen desde la obligatoriedad de controlar la concentración de metano, la designación de personal calificado para el monitoreo, la disposición de tableros informativos de las concentraciones diarias de metano, la medida de caudales de ventilación, hasta criterios para selección de herramientas y elementos de protección adecuados para el trabajo en atmósferas explosivas y de grisú; el análisis causal de las explosiones por acumulación de gases (Tabla 2) evidenció que la ejecución de actos inseguros como reparar equipos eléctricos al interior de la mina y la decisión de continuar el trabajo habiendo constatado concentraciones de gases explosivos por encima de los Valores.

Límite Permisibles (VLP) sumado al exceso de confianza fueron los factores humanos que llevaron a estas fatalidades. De otra parte, la falta de control, la ausencia de mediciones y las fallas en los sistemas de

ventilación confluyen completando los elementos del triángulo explosivo (Fig. 1).

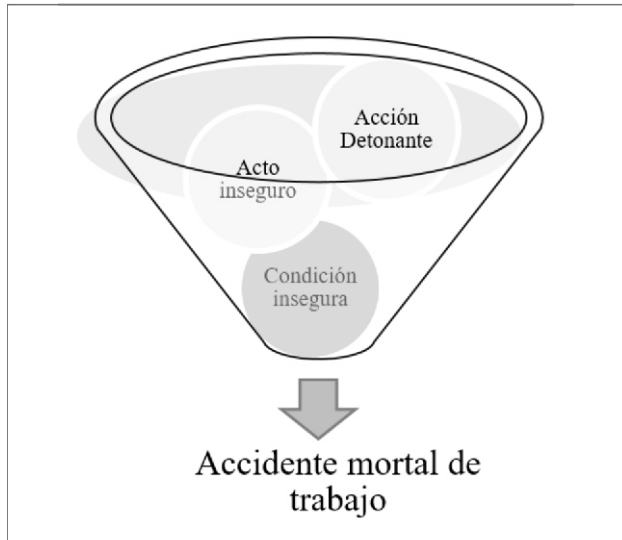


Figura 1. Elementos determinantes del accidente mortal de trabajo en la minería subterránea de carbón de la región andina Colombiana.

El análisis causal de los accidentes relacionados en la Tabla 1 mostró que las explosiones por acumulación de gases son multicausales y tienen nexo con varios factores internos: personas, procesos y sistemas. En consonancia, el riesgo de explosión por acumulación de gases en minas subterráneas de carbón debe gestionarse mediante el entrenamiento de los mineros, el diseño y desarrollo de auditorías; el monitoreo de los gases presentes en la atmósfera de la mina; la inspección y/o calibración periódica a los sensores, lámparas de bencina y metanómetros; el diseño de planes de respuesta ante estallidos y las designación de personal con funciones y responsabilidades concretas frente a la gestión del riesgo. Los sistemas de ventilación y de monitoreo de gases y temperatura, además de continuos, a falta de sistemas de respaldo, deben contar con planes respuesta inmediata ante las fallas.

Se constató que el detonante más frecuente de las explosiones son las chispas producidas por los equipos en mal estado o desprovistos de protección, como se evidenció en el accidente de la mina San Patricio ocurrido en agosto de 2015. En el pasado, la chispa detonante causó explosiones al caer sobre líquidos inflamables, entrar en contacto con metano concentrado por encima del 1 % y por la manipulación incorrecta de explosivos. La causalidad de explosiones de este tipo es la concurrencia de una condición insegura (proceso) y un acto inseguro (personas), por lo que se hace necesario garantizar el uso de equipos eléctricos con protección antiexplosión, monitorear permanentemente la concentración de CO₂, CO, H₂S, SO₂ y de vapores nitrosos, sin dejar de controlar e integrar sistemas auxiliares de ventilación.

En cuanto al costo de los daños y su impacto sobre el patrimonio de la empresa, cabe anotar que al accidente mortal de trabajo sigue la investigación para establecer la responsabilidad laboral, civil, penal y administrativa del empleador (empresa) que según cuantificación de la Dirección General de Riesgos Profesionales, podría alcanzar por cada fatalidad, los 600 millones de pesos con afiliación a la ARP y 71 millones de pesos adicionales por multa en ausencia de afiliación a la ARP. Esto sin cuantificar la sanción penal que por culpa, va de dos a seis años y por dolo, de trece a 35 años. A lo anterior, deben sumarse las pérdidas por interrupción de la operación, los reprocesos, las pérdidas materiales (equipos e insumos) y los recursos que deben destinarse a la investigación del accidente mortal de trabajo y al diseño e implementación de las medidas de control.



Figura 2. Análisis causal de accidente mortal minas subterráneas de carbón: explosión.

4.2. Riesgo asociado al trabajo en condiciones de deficiencia de oxígeno

La Agencia Nacional de Minería ha alertado sobre la ocurrencia de muertes al interior de las minas subterráneas por deficiencia de oxígeno e inhalación de bióxido de carbono. Este tipo de accidente se ha presentado tanto en faenas activas como en faenas posiblemente abandonadas y sin señalización que puedan impedir el acceso a la mina o que alerten sobre los riesgos a los que se expone la persona que decida ingresar sin la debida protección. El análisis de causalidad para estos eventos de riesgo operacional señalan la ejecución de actos inseguros y la inexistencia de sistemas de monitoreo y alarma, como causas básicas (Fig. 2).

La ausencia de sistemas de señalización y alerta conlleva a que personal no autorizado, por falta de juicio, descontrol emocional, curiosidad o falta de conocimiento, ingrese y permanezca en frentes de minería con porcentajes mayores a los VLP de gas asfixiante, generalmente CO; en consecuencia, no alcanzan a salir del lugar al percibir síntomas de hipoxia. El promedio de muertes en cada accidente de este tipo es de dos personas.

Los accidentes mortales por falta de oxígeno y presencia de gases tóxicos también se presentan

cuando fallan los sistemas de ventilación o no funcionan los sistemas de comunicación que alerten sobre la superación de los VLP al personal que está en el interior de la mina. En estas circunstancias, el número de muertes es mayor y alerta sobre la necesidad de disponer de equipos de circuito cerrado de respiración autónoma a base de oxígeno presurizado, cuyo costo en el mercado nacional oscila entre los 190 y los 580 millones de pesos colombianos.

4.3. Riesgo asociado al desprendimiento de roca y el derrumbe

El derrumbe por desprendimiento de bloques de roca y deslizamiento de talud es el evento de riesgo operacional asociado a los procesos más frecuente en la minería subterránea. Según datos de Ingeominas, en el periodo 2005-2006, el 33 % de los accidentes en minas subterráneas fue causado por derrumbes, frente a un 12 % causado por explosiones; situación similar a la constatada en Estados Unidos, donde la principal causa de accidentes fatales en minas subterráneas de carbón sigue siendo la caída de rocas desde el techo, seguido de los accidentes relacionados con el transporte mecanizado; las explosiones por acumulación de gases, ocupan el tercer lugar. El análisis de causalidad para estos eventos mostró que fue la confluencia de condiciones inseguras y de actos inseguros.

La probabilidad de ocurrencia de los derrumbes se incrementa cuando los ángulos de reposo del talud no garantizan su sostenimiento y cuando en presencia de grietas y diaclasas en el techo, no se implementan programas efectivos de sostenimiento. La prevención de los eventos de caída de rocas y de derrumbes en galerías subterráneas impone la continua aplicación de medidas integrales. Primero, debe considerarse la variabilidad de las fracturas y fallas del macizo rocoso por influencia de las filtraciones de agua y la pérdida de roca, lo que impone el cálculo periódico de los índices necesarios para la caracterización geomecánica de la

roca (clasificación del macizo rocoso e índice de calidad del túnel); en segunda medida, debe considerarse la sismicidad y finalmente, el estallido de rocas por eventos de liberación de energía.

4.4. Eventos de riesgo operacional con afectación ambiental – recurso suelo

La minería siempre acarrea riesgos de afectación al medio. Así, la sola extracción de un recurso natural presente en el medio genera cambios físicos visibles y desequilibrios que no siempre se perciben de manera inmediata. Tal es el caso de las afectaciones severas al suelo y al agua que derivan, por citar algunos, en desequilibrio hídrico, erosión y pérdida de capacidad agrológica matriz de conflictos de usufructo de tierras, desigualdades e injusticia ambiental.

Tabla 3. Eventos de riesgo operacional con afectación al suelo inherentes a los procesos extractivos. La probabilidad y la severidad se calificaron en escalas discretas: Alta = 4, Media = 2, Baja = 1. La criticidad así: no crítico = 1, moderadamente crítico = [2, 4], altamente crítico = 8, súper crítico = 16.

Evento	Probabilidad (p)	Severidad (s)	Criticidad (p*s)
Alteraciones morfológicas	4	2	Altamente crítico
Pérdida de valor paisajístico	4	2	Altamente crítico
Pérdida de suelo	4	4	Súper crítico
Pérdida de capacidad agrológica	4	2	Altamente crítico
Profundización del nivel freático	4	4	Súper crítico
Erosión	4	2	Altamente crítico

En la Tabla 3, son reportados seis eventos críticos de riesgo operacional con afectación al suelo por minería subterránea de carbón y oro, clasificados como de severidad alta bajo los criterios de generar daños materiales irreparables y pérdida cuantificable en más de diez mil dólares. Se estimó la probabilidad alta cuando en al menos una faena minería subterránea dentro de un grupo de diez, se evidenció la materialización del riesgo.

Para estimar la severidad del evento de riesgo operacional denominado erosión, se tomó como referencia la literatura que reporta experiencias de recuperación de suelo erosionado por minería, por ejemplo, Ferrari & Wall. La mayor calificación asignada a la profundización del nivel freático se debe al carácter irreparable y los costos por la pérdida de fuentes hídricas y la pérdida de capacidad agrológica.

5. DISCUSIÓN

Múltiples casos señalan la ocurrencia de eventos de riesgo operacional en cada fase de las faenas mineras. Durante las fases de extracción y cierre, se emiten al ambiente, partículas, gases, vapores y sustancias dañinas que redundan en pérdidas irreparables de suelo, agua y fauna, lo que afecta el frágil equilibrio de los ecosistemas y de paso, la salud ambiental.

Tanto en la minería subterránea desarrollada en los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca como en los demás puntos del país, prevalecen condiciones poco seguras que en confluencia de actos inseguros y el uso de tecnologías obsoletas, derivan en eventos fatales que cobran vidas humanas y pérdidas de biodiversidad cuya estimación y valorización económica está pendiente, incluso en países de tradición minera, como es el caso de Chile, por citar un referente cercano.

Con las faenas mineras se crean entre otros: sitios de almacenamiento de residuos, tanques de relaves,

minas abandonadas, que demandan contención y mantenimiento para evitar la materialización de nuevos riesgos con afectación al entorno.

El carácter multicausal de los eventos de riesgo operacional y su alta criticidad evidencian la necesidad de cualificar los estudios de riesgo y de implementar matrices referenciales que conminen a las empresas y a las autoridades a una mejor gestión del riesgo en labores de minería.

La brecha entre los riesgos existentes y las medidas de protección es amplia, la pobre estimación de las pérdidas por afectación al entorno a causa de la materialización de riesgos operacionales conlleva a que estas se terminen transfiriendo a las comunidades aledañas y al Estado.

REFERENCIAS

Ajak, A. D., & Topal, E. (septiembre de 2015). Real option in action: An example of flexible decision making at a mine operational level. *Resources Policy*, 45, 109-120.

Alvarado Cortés, C. (2007). *El riesgo operacional, su análisis y evaluación*. Bogotá: Consejo Colombiano de Seguridad.

AngloGold Ashanti. (2015). Understanding and mitigating threats, identifying and harnessing opportunities. Recuperado el 13 de 06 de 2015, de <http://www.anglogoldashanti.com/en/sustainability/Pages/Managing-Risk.aspx>

ANM. (2013). Alerta de seguridad minera por deflagración de metano. Bogotá: AMN.

ANM. (2013). Alerta de seguridad minera por manipulación incorrecta de explosivos. Bogotá: AMN.

ANM. (2013_a). Alerta de seguridad minera por explosión de líquido inflamable. Bogotá: AMN.

ANM. (2013_b). Alerta de seguridad minera por deflagración de metano. Bogotá: AMN.

ANM. (2014). Alerta de seguridad minera por deficiencia de oxígeno. Bogotá: AMN.

ANM. (2014). Verificación técnica del proceso SASI-033 de 2014. Bogotá: AMN.

ANM. (2014_a). Alerta de seguridad minera por derrumbre de talud. Bogotá: AMN.

ANM. (2015). Alerta de seguridad: deficiencia de oxígeno. Bogotá: AMN.

Borregaard, N. (2001). Valorización económica de los impactos ambientales en la minería chilena. *Revista*

ambiente y Desarrollo, 17, 50-58.

Bravo Mendoza, O., & Sánchez Celis, M. (2012). Gestión Integral de Riesgos (4ta ed., Vol. I). Bogotá: B&S.

Ferrari, A., & Wall, L. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. Revista de la Facultad de Agronomía, 105(2), 63-87.

García, J. (2011). Bases de datos de pérdidas por riesgos operacionales. Lima: SBS.

Grätz, T. (2009). Moralities, risk and rules in West African artisanal gold mining communities: A case study of Northern Benin. (E. Ltd, Ed.) Resources Policy, 34(1), 12-17.

Guerrero Useda, M. (2014). Minería de carbón en la Sabana de Bogotá: ¿podría ser sostenible? IIEC, 3(2), 11-16.

Guerrero Useda, M. (2015). Análisis de riesgo en emprendimientos mineros. En Experiencias internacionales emergentes en gestión tecnológica y de la innovación para el desarrollo territorial. Cartagena: Universidad Simón Bolívar.

Güiza Suárez, L. (julio - diciembre de 2011). Perspectiva jurídica de los impactos ambientales. Opinión Jurídica, 10(20), 123-140.

Kazakidis, V., & Scoble, M. (Agosto de 2003). Planning for flexibility in underground mine production systems. Mining Engineering, 55(8), 33-38.

Kirsch, P. (abril- junio de 2014). RISKGATE, una herramienta diseñada para la minería de carbón en la mejora de la seguridad, eficiencia y a nivel operacional. Medicina y Seguridad del Trabajo, 60(235), 286-289.

López de Azcona, J. (1992). La minería y el mundo americano. En J. M. López de Azcona, Bibliografía minera hispano americana, 1492-1892 (págs. XIII-XXIII). Madrid: Instituto Tecnológico Minero de España.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & PNUD. (2014). V Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica. Bogotá; MinAmbiente.

Ministerio de Minas y Energía. (2011). Política Nacional de Seguridad Minera. Bogotá.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Accidente mortal en el trabajo. Dirección General de Riesgos Profesionales. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social.

Ruiz, F. (2015). Escenarios de cambio climático en Colombia. Bogotá: Ideam.

Tchernitchin, A. N., & Herrera, L. (2006). Relaves Mineros y sus Efectos en Salud, Medio Ambiente y Desarrollo Económico. Ejemplo de Relave en el Valle de Chacabuco-Polpaico. Cuadernos Médico Sociales, 46(1), 22-43.

The Royal African Society. (2005). A message to world leaders. What about the damage we do to Africa? Londres: SOAS.