

Informe Pericial sobre los proyectos Loma Larga y Río Blanco Provincia de Azuay, Ecuador

James R. Kuipers, P.E.
Kuipers & Associates



**INFORME PERICIAL SOBRE LOS PROYECTOS
LOMA LARGA Y RÍO BLANCO, PROVINCIA DE AZUAY, ECUADOR**

James R. Kuipers, P.E.
Kuipers & Associates

Trabajo elaborado para
Alerta Minera Canadá y Environmental Defender Law Center
Organizaciones Sociales y Comunitarias de Azuay, Ecuador.

Publicado con el apoyo de la Cátedra Abierta
"Eugenio Espejo-Ernesto Che Guevara", Cuenca.

Fotografías: Patricio Chávez
Impresión: Editores del Austro

Junio 2016

PRESENTACIÓN

Los pueblos más directamente afectados por los proyectos mineros que se pretende realizar en los páramos del Macizo del Cajas –Kimsacocha y Molleturo–, han expresado su desacuerdo en base a su íntima relación con las fuentes de agua y frente al gran riesgo de afección en la calidad y la cantidad de aguas que podría resultar de la actividad minera metálica. Desde hace alrededor de 14 años, las comunidades de Victoria del Portete, Tarqui, Molleturo y Girón se han levantado repetidamente en defensa de la integridad de sus fuentes de agua, sus actividades agrícolas y de producción lechera, sus sistemas comunitarios de agua, buscando en general precautelar su bienestar.

Los temores de estas comunidades fueron reafirmados por los hallazgos del Ingeniero Minero James Kuipers de la consultoría Kuipers & Associates de Montana, EE.UU, quien emitió una opinión técnica sobre los dos proyectos mineros más avanzados dentro del Macizo: el proyecto Loma Larga de la empresa canadiense INV Metals (aún con mucha inversión de la empresa canadiense IAMGOLD) y el proyecto Río Blanco de la empresa china Junefield. La opinión del Ing. Kuipers fue solicitada por 16 organizaciones de Cuenca y alrededores en colaboración con Alerta Minera Canadá y el Centro Legal de Defensores del Medio Ambiente de los EE.UU.

Desarrollado en base a los mismos informes técnicos de las empresas y documentación suplementaria, el Ingeniero Kuipers -que cuenta con treinta años de experiencia en la minería metálica a gran escala- destaca grandes riesgos ambientales si se permite la actividad de la minería metálica en estos páramos. Sus conclusiones reafirman lo que han estado señalando las comunidades por tantos años: que la actividad minera no es compatible con los

páramos y el bienestar de todas y todos quienes dependen de las aguas que provienen de estos humedales alto-andinos vitales.

El Ingeniero Kuipers observa en el caso de Kimsacocha que el bombeo diario de millones de litros de agua para secar la mina subterránea y facilitar su operación podría contribuir a la pérdida de aguas superficiales y resultar en otra fuente de contaminación. El altísimo contenido de arsénico en la roca de la zona muy probablemente sea liberado, representando un enorme riesgo a la salud de los pueblos y del ganado lechero aguas abajo. Encuentra, además, una alta probabilidad de que la actividad minera en esta zona estimule un proceso crónico de drenaje ácido que lixiviaría metales pesados de la roca expuesta por décadas -sino siglos- como otra fuente de contaminación de la zona que podría perdurar mucho más tiempo que la poca duración de la mina. En conjunto, los grandes impactos que estos proyectos podrían generar, junto con la poca viabilidad económica de ellos y la falta de supervisión establecida en torno al cumplimiento de regulaciones, le permiten concluir en que no se deberían construir estos proyectos.

Esperamos que las observaciones del Ingeniero Kuipers sean tomadas en cuenta por todo el cantón Cuenca y alrededores, frente una actividad cuyas promesas de trabajo y ganancias económicas - las cuales difícilmente van a poder cumplir por el alto riesgo económico implícito en estos proyectos - fácilmente estarán superadas por los costos de los daños a los páramos, a la cultura, a los productos agrícolas, a las aguas y a la vida del campo y de la ciudad, que dependen de la integridad de este ecosistema frágil.

Jennifer Moore
MiningWatch Canada

I. Títulos y calificaciones profesionales

Mi nombre es James Kuipers, y se me ha solicitado que brinde mi opinión técnica sobre los impactos ambientales de los proyectos Loma Larga y Río Blanco en el cantón Cuenca, Azuay, Ecuador. Mis opiniones se fundan en mi educación y experiencia, al igual que en la revisión del material que me brindaron las comunidades ecuatorianas que solicitan este informe, conforme se indica en el Anexo 1.

Soy licenciado en ciencias de la ingeniería, mención procesos minerales, y cursé mis estudios en el Montana College of Mineral Science and Technology (1983). En la actualidad estoy registrado en los estados de Montana y Colorado. Mi experiencia profesional abarca más de 30 años en la industria minera y en el cumplimiento de normas ambientales en minería. En el Anexo 2 se encuentra mi curriculum con mayor información.

Gracias a mi abuelo, recibí una formación informal y práctica en minería subterránea antes de acceder a la educación formal en el tema. Al finalizar mis estudios, me desempeñé en varios puestos de la industria minera incluyendo director de obras, gerente de proyecto, y consultor. Desde 1996, estoy a cargo de Kuipers & Associates, con sede en Montana, EE.UU., donde soy el ingeniero consultor principal. Kuipers & Associates brinda servicios de consultoría en ingeniería y otros servicios técnicos a una gama de clientes que incluye gobiernos locales, de estados, federales y tri-

bales y organizaciones no-gubernamentales. Kuipers & Associates se especializa en permisos, operaciones, recuperación, y cierre en el contexto de minería de roca dura. En particular, se especializa en la caracterización de sitios mineros, planificación de respuesta a vertidos tóxicos incluyendo el uso de controles de la fuente al igual que el manejo y procesamiento de aguas residuales, y la estimación de costos asociados y garantía financiera.

He redactado varios informes sobre la recuperación y cierre de minas y plantas de procesamiento de minerales, he brindado capacitaciones sobre estimación de costos y diseño de tratamiento de aguas residuales y, en la actualidad, estoy contratado por la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU. para direccionar a nivel nacional los requisitos en la recuperación y cierre de minas y plantas de procesamiento de minerales, y garantías financieras. A su vez, me he desempeñado en calidad de consultor en el 2006 y el 2012 con la EPA y el Departamento de Estado de EE.UU. bajo el Tratado de Libre Comercio Chile–Estados Unidos para brindar capacitaciones en recuperación y cierre de minas y plantas de procesamiento de minerales, y garantía financiera para los Ministerios de Minería y del Ambiente de Chile. Además, brindo apoyo experto a una variada gama de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales incluyendo la facilitación de acuerdos entre las partes y apoyo experto para garantizar que los temas que les conciernen se reconozcan y aborden.

II. Material evaluado para este informe

Además de las referencias que se brindan en este documento, se han evaluado los siguientes documentos:

Proyecto Loma Larga

- RPA Inc. (2015) INV Metals Inc., Technical Report on the Loma Larga Project, Azuay Province, Ecuador, Informe NI 43-101, 20 de marzo de 2015.
- RPA Inc. (2012) INV Metals Inc., Technical Report on the Quimsacocha Project, Azuay Province, Ecuador, Informe NI 43-101, 18 de julio de 2012.
- IAMGOLD Technical Services (2009) IAMGOLD Corporation, Quimsacocha Gold Project, Azuay Province, Ecuador, Informe Técnico NI 43-101, febrero de 2009.

Proyecto Río Blanco

- Micon (2006) International Minerals Corporation, Revised Technical Report on the Alejandra North Vein Rio Blanco Gold and Silver Project, Feasibility Study, Ecuador, 20 de abril de 2006.
- San Luis Minerales (2011) EIA Fase de Explotación “Río Blanco”, Terrambiente Consultores Cía. Ltda.

III. Opinión técnica

Las opiniones que se expresan en este documento se basan en el material evaluado y el conocimiento y la experiencia profesional del autor en relación a las mejores prácticas en la industria global y el diseño, permisos, construcción, operación, recuperación y cierre de minas de roca dura al igual que el tratamiento de agua y garantía financiera. En las recomendaciones se brindan citas con objeto de que el lector pueda obtener mayor información sin que esa información estorbe en el informe.

Ésta es mayormente una evaluación cualitativa basada en la experiencia minera general del autor y, como ya se indicó, se requiere de mayores datos y valoraciones para lograr una evaluación más cuantitativa sobre los impactos reales de la mina.

1. ANTECEDENTES

Conforme la experiencia del evaluador, y como lo demuestra la historia de minas abandonadas resultado de diferentes períodos de actividad minera, los aspectos económicos y ambientales de las minas están vinculados. En tiempos modernos, cuando hablamos de la capacidad de las em-

presas de cumplir con sus obligaciones ambientales, existe una clara relación entre las minas que exhiben un buen funcionamiento y su capacidad de volverse rentables utilizando prácticas de minería progresivas. Es por eso que resulta necesario considerar tanto los aspectos clave económicos como ambientales de los proyectos propuestos, los cuales se resumen en esta sección.

La Tabla 1 identifica y caracteriza los elementos económicos clave de los proyectos propuestos de acuerdo a la información que se brinda en los estudios de pre-factibilidad más recientes de cada mina.

En el estudio de pre-factibilidad de Loma Larga llevado a cabo en el 2015 se menciona que el mineral contiene alta ley de oro y plata asociada con una concentración de arsénico significativa. Las concentraciones de arsénico en el mineral altamente sulfurado presentan dificultades para obtener concentrados de producto económicamente factibles, con contenidos de 11% As en el concentrado de cobre. El estudio concluye que: "El proyecto Loma Larga es potencialmente viable de acuerdo a los resultados de este Estudio. Se requiere de un trabajo en mayor detalle para verificar y actualizar las suposiciones y confirmar la aceptabilidad y viabilidad del proyecto a nivel financiero, social, ambiental y político. El nivel de confiabilidad de la información no es suficiente para clasificar ningún recurso como Medido".

TABLA 1. ASPECTOS ECONÓMICOS CLAVE DE LOS PROYECTOS LOMA LARGA Y RÍO BLANCO

ASPECTO	LOMA LARGA (RPA 2015)	RÍO BLANCO (MICON 2006/IMZ 2009)
Clima		
Elevación, m	3,500 a 3,900	3,000 to 4,000
Precipitación, mm	1,060 a 1,600	920
Temperatura, °C	2.2 a 17.1	0 to 18
Minería		
Método	Realce subterráneo, y excavación por galerías y relleno incluyendo uso de desechos	Realce subterráneo, incluyendo el uso de desechos
Extracción, toneladas/día	1,000	800
Extracción, toneladas/año	350,000	292,000
Operación de la mina, años	13.25	6.9
Reservas probables, toneladas	4,603,000	1,991,000
Ley del mineral		
Au gramos/tonelada	7.67	8.1
Ag gramos/tonelada	38.4	63
Cu, %	0.46	
Procesamiento		
Método	Flotación de concentrados de cobre y pirita y beneficio fuera de mina	lixiviación con cianuro con precipitación de zinc
Extracción, toneladas/día	1,000	800
Rendimiento		
Au	82%	87%
Ag	90%	70%
Cu	94%	

**TABLA 1. ASPECTOS ECONÓMICOS CLAVE DE LOS PROYECTOS LOMA LARGA Y RÍO BLANCO
(CONTINUACIÓN)**

ASPECTO	LOMA LARGA (RPA 2015)	RÍO BLANCO (MICON 2006/IMZ 2009)
Ley del concentrado Cu		
Au gramos/tonelada	107	
Ag gramos/tonelada	1,356	
Cu, %	30%	
Ley del concentrado de pirita		
Au gramos/tonelada	37	
Ag gramos/tonelada	126	
Ingresos		
Precio del metal		
Au, \$	1,350	475
Ag, \$	23	8
Cu, \$	3.00	
Costo operativo, \$/t	96.41	50.40
Inversión de capital iniciales	\$244,686,000	60,321,000
Plazo de retorno de pago después de impuestos	3.8 años	3.4 años
Tasa Interna de Retorno (TIR) después de impuestos	16.0%	20.1% (antes de los impuestos)
Valor Actual Neto (VAN) después de impuestos, 5% DROR (Discounted Rate of Return – Tasa de Rendimiento Descontada)	\$153,823,000	35,392,000 (antes de los impuestos)
VAN después de impuestos, 7.5% DROR	\$102,569,000	
VAN después de impuestos, 10% DROR	\$63,014,000	18,810,000 (antes de los impuestos)

El estudio de pre-factibilidad de Río Blanco que está disponible ha sido realizado en 2006 y actualizado en 2009. Según el informe de 2006, “Los estudios de ingeniería completados a la fecha han demostrado la factibilidad técnica de producirse doré de oro y plata en la propiedad.” “Los resultados de los estudios técnicos y análisis económicas presentados en el informe se consideran suficientes para apoyar el avance del Proyecto Río Blanco hacia la plena producción.”

Las secciones a continuación resumen los aspectos ambientales de los proyectos propuestos.

a. Loma Larga – Aspectos ambientales clave

De acuerdo al estudio de pre-factibilidad (RPA 2015), “Los retos ambientales vinculados al drenaje ácido y al manejo del agua, si bien son controlables, requieren una atención y estudio diligentes para mitigar los ries-

gos de manera efectiva. El diseño de la infraestructura del proyecto toma en consideración prácticas internacionales de punta en manejo ambiental con objeto de limitar la influencia del proyecto en componentes del ambiente tales como el agua, la vida silvestre, y la vegetación. INV sigue priorizando la gestión ambiental en su trabajo continuo con las comunidades locales”.

Mina subterránea: el realce por sub-niveles (stoping) será el método principal, y se combinará con el método de excavación por galerías y relleno (drift and fill). Partiendo de un índice estable de producción de 350,000 toneladas por año, el relleno necesario nominal llegaría a 130,000 m³ por año para rellenar las excavaciones creadas por ambos métodos. Una vez que se cierre la mina, la galería de acceso se rellenará con el resto de los desechos de roca para limitar el acceso.

Pila de desechos de roca: en evaluaciones previas del potencial de dre-

naje ácido y reactividad del suelo (SRK 2006, y Golder 2008) se indica que la mayor parte del desecho de roca probablemente sea generadora potencial de ácido (PAG, potentially acid generating) y que una parte de este material generará drenaje ácido muy poco después de estar expuesto a la atmósfera (es decir, en semanas). Las pilas de desechos de roca se llevarán a niveles subterráneos al cerrarse la mina. Los sitios de acumulación de desechos de roca serán eliminados y acarreados fuera de los terrenos de la mina, los terraplenes se aplanarán y las áreas se re-contornearán y revegetarán.

Depósito de colas: durante los 13.25 años de operación de la mina, el espacio que se requiere para el depósito de colas secas es para aproximadamente 2.3 millones de toneladas. Se estima que la generación anual de colas máxima será 245,500 toneladas. Las colas secas se transportarán en camiones al depósito donde se esparcirán y compactarán utilizando

maquinaria común para la movilización de suelos (topadoras y compactadoras). Se presume que las colas son PAG y tienen el potencial de lixiviar metales. La superficie debajo de la pila de colas estará recubierta para prevenir su filtración a las napas de agua subterráneas. El depósito de colas tendrá una berma protectora de material de relleno a lo largo del límite oriental de la instalación, bermas de material de relleno/caminos de acceso a lo largo del perímetro de la pila de colas, y elementos de drenaje bajo tierra para bajar la napa freática debajo de las pilas de colas y para acumular y acarrear filtraciones fuera de la pila de colas.

El objetivo principal al cerrar el depósito de colas será garantizar la seguridad y limitar la infiltración de precipitación en la pila de colas. Esto requerirá principalmente una cubierta de baja permeabilidad y prácticas apropiadas de manejo de aguas, incluyendo el moldeo de la superficie final para que el flujo corra hacia los

canales de recolección. Se supone que la cubierta de baja permeabilidad contará con un revestimiento (para cubrir las colas expuestas), sobre el cual se dispondrá una sobrecapa de suelo vegetada. Se supone que se necesitará tratar las filtraciones al cerrarse la mina antes de su liberación en el ambiente. Las instalaciones de recolección y tratamiento de filtraciones deberán funcionar hasta que la calidad de agua en los arroyos de suministro (p. ej. filtraciones de colas, filtraciones recolectadas de la mina) llegue a niveles aceptables, lo cual puede demorarse años o décadas, y puede ser perpetuo.

Planta de tratamiento de aguas residuales: visto que el balance hidrológico en el sitio demuestra un exceso de agua durante las operaciones, se requiere el tratamiento del agua proveniente del drenaje de la mina previo a su vertimiento en el ambiente. Dado que se carece de datos para completar el diseño, la planta es un diseño conceptual de

eliminación de metales pesados basado en la experiencia con operaciones parecidas.

b. Río Blanco – Aspectos ambientales clave

De acuerdo con el estudio de factibilidad (Micon 2006, p. 127-128) “Río Blanco puede ser considerado como un proyecto minero de impacto ambiental inherentemente bajo.

Los factores clave que contribuyen a esto incluyen:

- Recolección de mineral con contenido relativamente bajo de sulfuro reactivo y por lo tanto un riesgo limitado de drenaje ácido de las rocas (ARD).
- Un sistema de agua subterránea favorable con poca propensión a la generación de grandes volúmenes de agua de mina (durante las operaciones o luego del cierre).

- Operación subterránea sin significativos requerimientos de almacenaje de los desechos de roca en la superficie.
- Plan de explotación de relleno hidráulico, y por lo tanto reducción del espacio vacío de largo plazo, dentro del cual se puede generar ARD, y minimización del volumen de colas que deben almacenarse en la superficie.
- Incorporación de un plan de minería con una estrategia de gestión de colas en la superficie altamente conservador, que incluye tanto la destrucción del cianuro como el revestimiento con geomembrana de los depósitos de colas propuestos.

Mina Subterránea: los anchos relativamente continuos y buenos de la zona de mineral en la mayor parte del yacimiento Alejandra Norte proporciona un entorno apto en el que se puede aplicar realce por subniveles abiertos con perforación con barreno profundo, con relleno hidráulico cementado. WMC recomendó que el sistema de desagüe debiera ser diseñado con base en una tasa de desagüe máxima de 15 l/s.

Pila de Desechos de Roca: todos los desechos de roca en el periodo de pre-producción (aproximadamente 250.000 t) serán transportados a la superficie. De esta cantidad total, aproximadamente 30.000 toneladas serán utilizadas como relleno en el realce por subniveles con perforación de barreno profundo de pliegue por encima del

nivel 3800 y el resto será utilizado en la construcción de instalaciones en la superficie. Una vez que comience la producción, aproximadamente 80% de todos los residuos permanecerán bajo tierra, colocados en subniveles abiertos agotados. La proporción pequeña de residuos enviados a la superficie será utilizada para aumentar la altura de dique de colas cuando sea necesario. No quedará una pila de residuos en la superficie al final de la vida de la mina.

Depósito de Colas: las colas resultantes del procesamiento serán almacenadas en un área revestida de disposición de colas cercana. El muro del dique de colas propuesto está al noroeste del campamento existente de IMC. El muro propuesto tendrá una altura de alrededor de 18 m en su sección máxima y tendrá una capacidad de almacenamiento de alrededor de 1,14 millones de m³. Ésta es capacidad suficiente para almacenar hasta 1.5 millones de toneladas de colas.

2. EL PROBLEMA DE LA MINERÍA EN PÁRAMOS

La descripción de páramo que brinda RPA (2015) es la siguiente: “La mayor parte del área próxima al Proyecto se puede clasificar como páramo, o moors como se les conoce en inglés. Es una variedad del ecosistema de tundra alpina



que se da únicamente en ambientes montañosos, tropicales, elevados, por encima del límite altitudinal arbóreo pero por debajo de la línea de nieves perpetuas, y está compuesto mayormente por plantas arrosadas gigantes, arbustos, y hierbas. Carente de árboles, la vegetación se adapta al clima extremo: frío, fuertes vientos, humedad relativamente elevada; nubosidad y sol extremo (Ramsay & Oxley, 1997)". "La fuente de agua, irrigación, y generación de energía hidroeléctrica de varias ciudades y comunidades en la región del Proyecto depende del ecosistema del páramo (Buytaert et al., 2006a)".

Los páramos se reconocen por su muy amplio excedente de agua y caudal de base sostenido, que alimentan los ríos que descienden tanto hacia las regiones costeras como hacia la cuenca amazónica. A menudo se hace referencia a la extrema capacidad de regulación hídrica de los páramos (Buytaert, et al, 2006). Buytaert (2006) indica que la minería se reconoce en particular por su consumo de grandes cantidades de agua que con el tiempo vuelve a verse en el ciclo hidrológico, pero con un alto nivel de contaminación. Este tipo de consumo a nivel local también puede afectar el balance hídrico, que es crucial para la hidrología de los páramos. Como se destaca además, ha habido pocos intentos de aproximar la hidrología de los páramos científicamente y, desde un punto de vista conceptual, es especialmente dificultoso debido al alto contenido de carbono orgánico en los suelos, su topografía irregular que causa

lagunas perennes y efímeras, y los flujos de retorno más frecuentes. Todo esto lleva a una imprevisibilidad significativa en cuanto a los posibles impactos de la minería en la hidrología y ecosistemas en general de los páramos. Como se describe en las secciones a continuación, los impactos de la minería que resultan de la subsidencia y factores hidrológicos tienen altas probabilidades de causar impactos significativos, si bien difíciles de predecir e interpretar, en los ecosistemas de páramos.

Más allá de los impactos vinculados a la hidrología, los cuales se examinan en la siguiente sección, el principal problema de la minería en áreas de valor ecológico es la subsidencia y sus efectos topográficos. Singh indica que, "La subsidencia es una consecuencia inevitable de la minería subterránea – puede que sea leve y localizada o que se extienda en grandes áreas, puede que sea inmediata o que se demore muchos años" (SME, 1992). Fejes describe la subsidencia como "un resultado natural de la minería subterránea", e indica a su vez que "Cuando se crea un vacío la naturaleza terminará buscando la configuración geológica más estable, la cual es el colapso del vacío y la consolidación del terreno" (Mining, 1997). Un aspecto central en estas opiniones es el hecho subyacente de la inevitabilidad de la subsidencia y su impacto en el estrato superior.

La subsidencia siempre ha sido considerada una consecuencia de la minería subterránea, por lo menos hasta cierto

punto, y comenzó al caer la primera roca sobre una persona trabajando bajo tierra para extraer el mineral. Hoover (Agricola, 1950), Gregory (1982), Kratzsch (1983), Whittaker y Reddish (1989) y muchos otros han presentado evidencia histórica de la subsidencia en los últimos 5,000 años. En 1556 Georgius Agricola indicó en *De Re Metallica*, el clásico en minería y metalurgia, que los italianos habían prohibido toda minería en o alrededor de los extensos viñedos y campos de las principales regiones agrícolas debido a los efectos negativos de la subsidencia y el empobrecimiento de la calidad del agua debido a la minería (Agricola, 1950).

El colapso del estrato superior siempre ha sido una preocupación para quienes trabajan en operaciones de minería subterránea, tanto por razones de seguridad como de logística minera. El estudio formal de ingeniería de subsidencia comenzó en el siglo XIX y su enfoque era las minas de carbón europeas en Bélgica, Francia y Ale-

mania. Los estudios se iniciaron por daños a las instalaciones de minería y la vía férrea en la superficie (Kratzsch, 1983), (Whittaker y Reddish, 1989). Estos informes tempranos sentaron las bases para estudios de subsidencia futuros e identificaron los mecanismos de subsidencia (Whittaker y Reddish, 1989). El estudio de movimientos en la superficie llevó al desarrollo de conceptos teóricos que gradualmente evolucionaron hasta llegar a ser el foco de la ingeniería de subsidencia minera. Esta rama abarca áreas de estudio específicas tales como el movimiento de la tierra, geología estructural, geomecánica, agrimensura, derecho minero y de propiedades, y métodos y técnicas de minería. Si se busca estudiar las consecuencias ambientales, es necesaria una comprensión total de la ingeniería de subsidencia minera al igual que el estudio de los procesos de construcción, tecnología de la comunicación, ciencia agrícola, hidrología e hidrogeología, planificación urbana, y consideraciones socioeconómicas (SME, 1986).

Históricamente, en la minería subterránea de roca dura, el método de realce por subniveles combinado con el desarrollo de entradas, galerías y piques ha sido el método más prolífico en minería a pequeña y gran escala. El realce por subniveles se puede utilizar en la mayor parte de yacimientos con vetas que son los típicos de los yacimientos de metales básicos y preciosos. La subsidencia que provocan las excavaciones, por lo general, es el resultado de desmoronamientos imprevistos, soportes inadecuados, sobrecarga de pilares, trabajo muy próximo a la superficie y eventual colapso estructural que ocurre naturalmente a lo largo del tiempo con la consolidación del terreno. En general, la subsidencia se limita a la pared superior de excavaciones inferiores. En muchos casos, el grado de subsidencia en la superficie que provoca el realce por subniveles es aislado y relativamente leve. Sin embargo, en algunos casos, sobre todo al utilizarse esta técnica de manera extensiva, la subsidencia

que resulta puede cobrar notables efectos en la superficie.

La magnitud y extensión de la subsidencia se ven afectadas por una serie de parámetros geológicos y mineros. Éstos incluyen el espesor del material excavado; las áreas de explotación que se hallan por encima; la profundidad de trabajo; buzamiento del área; resistencia a la subsidencia y carácter del terreno a minar y alrededores; geología del material cercano a la superficie; discontinuidades geológicas; fracturas, fallas y particularidades geológicas; tensiones localizadas; volumen de extracción; topografía del terreno; aguas subterráneas (incluyendo su elevación y fluctuación); área que la mina ocupa; métodos de minería; rapidez de excavación; proceso de rellenado; tiempo; y características estructurales (SME, 1986). Estos factores se reconocen y han sido ampliamente examinados en la literatura. A continuación, se resaltan algunos de ellos de particular importancia para los proyectos propuestos:

Rellenado de la excavación (backfilling): el rellenado parcial o completo de la mina reduce la subsidencia y depende del tipo y extensión del rellenado. Sin embargo, cabe resaltar que el rellenado no elimina la subsidencia (SME, 1986; Mining, 1997).

Agua subterránea: los gradientes del drenaje pueden verse alterados como resultado de perturbaciones del estrato próximo a las áreas mineras. La saturación puede de-

bilitar las rocas y los patrones de erosión pueden cambiar. Si hay agua en la superficie, ésta podría migrar con mayor facilidad hacia fracturas y fisuras en el estrato y al interior de la mina lo que podría inducir subsidencia (SME, 1986). La creación de una cavidad como resultado de la minería resulta en subsidencia. Pero otro fenómeno que se vincula a la minería y que también crea subsidencia es el drenaje de las labores para posibilitar la minería subterránea. El drenaje también lleva a la formación de cavidades (que en su momento estaban llenas de agua) y, al igual que las cavidades que se crean directamente por la minería, éstas pueden resultar en subsidencia, debido a que se modifican las propiedades hidrogeológicas del estrato asociado.

Espesor del mineral: Existe una relación directa entre el espesor del material que se extrae y el grado de subsidencia en la superficie que puede resultar, lo que lo convierte en un importante factor en la predicción de subsidencia. Un mayor espesor resulta en una mayor subsidencia en la superficie (SME, 1986).

Profundidad del yacimiento mineral: Singh y otros han determinado que “la subsidencia es independiente de la profundidad” y refutan la idea que la subsidencia de la superficie puede prevenirse al dejar una sobrecapa de mayor espesor. Si bien esto puede prolongar el período previo a que se observen los efectos de la subsidencia en la superficie, el grado total de subsidencia no varía (SME, 1986).

3. EL PROBLEMA DE MINAR EN ÁREAS PROTEGIDAS CUYO PROPÓSITO ES PROTEGER RECURSOS HÍDRICOS

Los impactos de la minería en los recursos hídricos están bien documentados y, en particular, Simons (Mining, 1997), Norton (1996), Park (1987) y otros han analizado los impactos de la minería subterránea en aguas superficiales y subterráneas. Algunos de los impactos más importantes en aguas superficiales incluyen subsidencia, efectos en los manantiales, cambios en los humedales, e impactos en la calidad del agua, sobre todo debido a fugas. Se ha demostrado que los canales de arroyos son los que más contribuyen al ingreso de agua en las labores subterráneas, con lo cual las actividades de drenaje de agua a menudo limitan el flujo de los arroyos. Tanto las características de la superficie como las estructuras geológicas y sistemas de fracturas subyacentes que controlan el agua en la superficie se pueden ver afectados por la minería subterránea y la subsidencia. El bombeo de acuíferos vinculado a áreas de minería subterránea puede interrumpir el flujo de agua a la superficie. El régimen hidrológico de sistemas aluviales y humedales se puede ver afectado por el drenaje de minas subterráneas, lo que puede impactar la productividad, el hábitat de la fauna, y otras funciones. Los efectos de la minería subterránea en el agua superficial varían tanto en forma como en severidad (Mining, 1997).

La minería subterránea puede modificar la trayectoria de los flujos hídricos subterráneos y el ambiente geoquímico. La minería puede aumentar la permeabilidad de los macizos rocosos, crear nuevas superficies rocosas, y permitir el flujo de agua entre áreas que hasta entonces no estaban conectadas o entre flujos superficiales y subterráneos. Esto puede modificar la calidad del agua subterránea al ocurrir reacciones de disolución/precipitación en los sistemas geoquímicos naturales (Mining, 1997).

Los impactos de las minas subterráneas en aguas subterráneas son similares a los de las minas a cielo abierto, drenando agua del acuífero cercano en la excavación (Thunvik, 1978). Sin embargo, su impacto en la elevación de aguas subterráneas puede ser mayor debido a que las minas subterráneas con frecuencia son más profundas y cubren extensiones más amplias que los tajos abiertos. La minería subterránea puede llevar al agotamiento de aguas subterráneas en extensiones kilométricas e impactar acuíferos de mayores dimensiones sobre todo cuando se trata de operaciones de gran envergadura.

Los patrones de flujo en la superficie se pueden ver afectados por cambios en el flujo superficial y en la capa freática debido a la subsidencia en la superficie, a la formación de grandes agujeros, hoyos y depresiones, y a la entrada de agua a las minas (Singh, 1982). La entrada de agua en las minas también afecta los patrones de flujo en la superficie y a menudo la calidad del agua, debido al



drenaje de las minas, cuando ésta llega a la superficie. Con frecuencia, los lagos y manantiales alto en las montañas cuentan con sólo una conexión intermitente al agua subterránea profunda. Por ejemplo, un aluvión y coluvión en un circo elevado se recarga anualmente por la nieve derretida, o por un aumento en precipitación propio de la estación. En general el agua fluye hacia lagos poco profundos, humedales, manantiales y pequeños arroyos. Parte del agua puede fluir de manera vertical y recargar los sistemas hídricos subyacentes intermedios o profundos. El nivel de recarga por precipitación en la cuenca depende de las propiedades presentes entre el acuífero de la superficie y el profundo. En los lechos de roca, esto por lo general depende de las fracturas.

La minería subterránea crea nuevos canales para el agua y el aire. El agua subterránea que se filtra en la mina puede entrar en contacto con nuevas superficies rocosas que pue-

den contener minerales reactivos o solubles. Es posible que la composición química del agua subterránea que se filtra sea inestable, resultando en reacciones de disolución/precipitación que modifiquen la calidad del agua subterránea. Cuando el agua subterránea entra en contacto con roca altamente mineralizada en una explotación, su pH puede cambiar resultando en drenaje ácido y como resultado disolver concentraciones importantes de metales. El efecto de esto en la calidad del agua subterránea depende del tratamiento y el punto de descarga (Mining, 1997).

El drenaje de agua que ocurre en las minas subterráneas lleva al agotamiento del acuífero, lo que reduce la capa freática. Cuando las minas subterráneas ocupan áreas saturadas, el agua que se filtra crea un gradiente hidráulico e induce el flujo hacia la mina, lo cual resulta en la depresión de niveles hidráulicos. Por lo general existe una relación directa entre la

profundidad de la mina y el resultante nivel estático de agua y, cuanto más profunda se hace la mina, más bajan los niveles de agua. Los niveles de agua también bajan en función de la ubicación de la mina relativo a las fuentes de carga/descarga (Mining, 1997). Las fracturas en el estrato superior debido a la subsidencia pueden aumentar el flujo vertical, lo cual podría llevar al drenaje de acuíferos más cercanos a la superficie. La permeabilidad aumenta al llegar las fracturas a la superficie, y esto puede llevar a una mayor recarga de agua subterránea y al agotamiento del agua superficial.

Los mayores impactos de la minería subterránea en la hidrología son la reducción de la capa protectora de la zona de aireación; el aumento o reducción del nivel hídrico superficial en áreas inundadas tales como humedales; la alteración de los gradientes hídricos llevando a cambios en la dirección y velocidad del flujo; la alteración de las características natu-

rales de retención; y el enturbiamiento del agua subterránea debido a desmoronamientos (Gremela, 1997).

4. EVALUACIÓN CRÍTICA DEL PROPUESTO PROYECTO MINERO LOMA LARGA

a. Consideraciones económicas

La mejor manera de describir el proyecto Loma Larga en comparación con otras minas modernas, incluyendo minas subterráneas, es como un yacimiento relativamente pequeño (4.6 millones de toneladas) de ley moderada, oro (7.67g/t), plata (38.4g/t) y cobre (0.46%). El propietario propone construir el proyecto utilizando técnicas convencionales de minería subterránea a un modesto ritmo de 1,000 toneladas/día, lo cual le brindaría una vida útil de aproximadamente 13 años. El mineral se procesaría mediante flotación para producir así concentrados tanto de cobre como de pirita con oro y plata, que se enviarían a otro lugar para continuar su beneficio. Basándose en los costos de capital iniciales de \$245M, costos operativos de \$96.41/tonelada, y precios de metales que exceden los valores actuales (Au \$1,350/oz vs \$1,265/oz actuales, Ag

\$23.00/oz vs \$17.07 actuales y Cu \$3.00/lb vs \$2.10/lb actuales) se presume que el proyecto lograría un retorno de pago en 3.8 años y que resultaría en una tasa interna de retorno (TIR) después de impuestos de 16%, resultando en un valor actual neto (VAN) de \$154M basado en una tasa de rendimiento descontada (DROR – discounted rate of return) del 5%.

RECURSO INFERIDO

Como ya se ha mencionado, el estudio de pre-factibilidad de Loma Larga (RPA 2015) concluye que: “El proyecto Loma Larga es potencialmente viable de acuerdo a los resultados de este Estudio. Se requiere de un trabajo en mayor detalle para verificar y actualizar las suposiciones y confirmar la aceptabilidad y viabilidad del proyecto a nivel financiero, social, ambiental y político. El nivel de confiabilidad de la información no es suficiente para clasificar ningún recurso como Medido”.

Es importante comprender las distinciones que se realizan en las conclusiones del estudio. De acuerdo a las Definiciones Normalizadas del Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo (CIM por sus siglas en inglés)*, que son ampliamente aceptadas, un “Recurso Minero Medido”

* http://web.cim.org/UserFiles/File/CIM_DEFINITON_STANDARDS_Nov_2010.pdf

representa aquella parte del Recurso Minero sobre la cual la cantidad, ley, densidad, morfología, y características físicas están tan bien establecidas que se las puede estimar con suficiente confianza para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos para apoyar la planificación de la producción y la evaluación de la viabilidad económica del yacimiento. La estimación se basa en información detallada y confiable de exploración, muestras y testeos recaudada mediante técnicas apropiadas de áreas tales como afloramientos, zanjas, pozos, labores, y barrenos espaciados con suficiente proximidad para poder confirmar la continuidad geológica y de clase.” La mayor parte de las reservas para el proyecto actualmente están clasificadas como “indicadas” lo cual, de acuerdo al CIM “es de suficiente calidad para apoyar un Estudio de Prefactibilidad, el cual puede sentar las bases para decisiones de importancia trascendental sobre el desarrollo del proyecto”.

Conforme a las recomendaciones del estudio, la evaluación económica presente es preliminar y antes de toda decisión final sobre la viabilidad económica del proyecto, se debe recaudar información considerable suficiente para completar un estudio de factibilidad, incluyendo mayor información sobre las reservas minerales, lo cual requerirá más sondeos.

CAPACIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DEL CONCENTRADO DE COBRE

Como ya se ha mencionado, el estudio de pre-factibilidad de Loma Larga (RPA 2015) indica que el mineral contiene alta ley de oro y plata asociada con una concentración de arsénico significativa. Las concentraciones de arsénico en el mineral altamente sulfurado presentan dificultades para obtener concentrados de producto económicamente factibles, con contenidos de 11% As en el concentrado de cobre. El alto contenido de arsénico en el concentrado de cobre se ha indicado recientemente y se utilizan ejemplos de concentrados con niveles de arsénico de entre 1.2% y 8% para describir concentrados “sucios” que la mayor parte de las plantas de beneficio de cobre ya no pueden procesar. De hecho, en la actualidad puede que existan sólo cuatro que procesen concentrados con >1% de arsénico**.

Cuento con una larga experiencia en comercialización de concentrados, incluyendo concentrados sucios que contienen arsénico. Los valores de arsénico extremadamente elevados (11%) que se proyectan para el concentrado de cobre de Loma Larga presentan una dificultad notable en cuanto a la posibilidad de comercializar el concentrado de forma competitiva, o al menos exitosa. Teniendo en cuenta que las posibilidades para el beneficio de concentrados sucios es limitada y que las opciones futuras aún se encuen-

** See <http://im-mining.com/2016/02/23/high-arsenic-copper-concentrates/>

tran en la fase de desarrollo técnico, este factor por su cuenta, más que ningún otro, puede tener una importancia crítica en relación a la viabilidad técnica y económica del proyecto. En nuestro parecer, el proyecto no debería seguir adelante hasta que no se aborde la capacidad de comercialización del concentrado de cobre visto el muy elevado contenido de arsénico. La mejor manera de hacerlo sería brindando evidencia de una planta de beneficio dispuesta a aceptar tales concentrados. En nuestra opinión, para ser viable, la planta de beneficio debería utilizar tecnología moderna para el control de la contaminación y no resultar en la eliminación de arsénico en el ambiente.

CAPACIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DEL CONCENTRADO DE PIRITA

El informe indica que el proyecto produciría un concentrado de pirita con niveles relativamente bajos de oro (37 g/t) y plata (126 g/t). Si bien el

informe indica que este concentrado se puede comercializar, no se brinda ninguna información adicional.

Dada nuestra extensa experiencia en comercialización y beneficio de concentrados, incluyendo los de pirita, hallamos motivos para cuestionar el valor comercial del concentrado. Su ley no es lo suficientemente alta para enviarlo a una planta de beneficio convencional, lo cual plantea dudas sobre las plantas disponibles, su viabilidad en relación a las prácticas de eliminación de residuos tóxicos de plantas potenciales, y las condiciones de envío y pago del concentrado de pirita. El proyecto no debería continuar sobre la base de la venta del concentrado de pirita a menos que se pueda identificar claramente una planta de beneficio dispuesta a aceptar tales concentrados.

VIABILIDAD ECONÓMICA GENERAL

Dado el carácter sensible de las reservas y ley del mineral, los costos

capitales y operativos y el precio de los metales, la proyección de una TIR después de impuestos de 16.0% no es alentadora, ya que un resultado negativo en tan sólo un área podría resultar en una tasa de rendimiento negativa. Vistos los precios actuales, sobre todo del cobre, el proyecto simplemente no es económicamente viable. Si este proyecto se hubiera desarrollado en los últimos 3 a 5 años, probablemente estaría afrontando un cierre prematuro con potencial de abandono.

Los elevados costos de inversión capital y de operación limitan inexorablemente la capacidad de toda operación relativamente modesta de minería subterránea de producción de concentrados de afrontar las condiciones cambiantes de la economía. Si bien las minas subterráneas de ley más alta pueden justificar costos más elevados, las minas de ley más moderada, como es Loma Larga pueden mostrarse altamente sensibles a los factores de costo. Por último, esto

puede influir negativamente en el cumplimiento de mejores prácticas de la industria en cuanto al diseño, construcción, operación, recuperación y cierre, al igual que llevar a un cese prematuro de operaciones y a un abandono potencial de la mina. En nuestra experiencia, incluso los operadores de mina más éticos y mejor intencionados reducen los costos asignados a requisitos ambientales ante una rentabilidad menor a la esperada, y se vuelven susceptibles a una posible bancarota. Es de nuestro parecer que el aspecto económico de este yacimiento torna su viabilidad económica, y por ende su fiabilidad ambiental y social, cuestionable.

b. Consideraciones ambientales

Como ya se ha indicado, de acuerdo al estudio de pre-factibilidad (RPA 2015), “Los retos ambientales vinculados al drenaje ácido y al manejo del agua, si bien son controlables, requieren una atención y estudio diligentes para mitigar los riesgos de manera efectiva. El diseño de la infraestructura del proyecto toma en consideración prácticas internacionales de punta de manejo ambiental con objeto de limitar la influencia del proyecto en elementos ambientales tales como el agua, la vida silvestre, y la vegetación. INV sigue priorizando la gestión ambiental en su trabajo continuo con las comunidades locales”.



PAG Y LIXIVIACIÓN DE METALES

El informe indica que la mayor parte del desecho de roca probablemente sea PAG y que una parte de este material probablemente generará drenaje ácido muy poco después de estar expuesto a la atmósfera. El informe supone que las colas también serán PAG a pesar de que se eliminan los sulfuros de los concentrados de cobre y pirita. A su vez, el informe supone que habrá alguna fuga de la mina, lo que requerirá el tratamiento de aguas para eliminar metales. En base a la información disponible examinada estas suposiciones son razonables y conservadoras.

En nuestra experiencia, el potencial significativo de drenaje ácido y la lixiviación de metales incluyendo arsénico en concentraciones significativas insinúa que el proyecto es de alto riesgo con respecto a la posibilidad de que impacte recursos hídricos, los suelos, y que resulte en niveles inaceptables para la población hu-

mana, ya sea debido a la exposición en el trabajo o al ingerir el agua. Si bien se pueden utilizar medidas de mitigación para limitar la probabilidad y consecuencias del drenaje ácido y la lixiviación de metales, éstas no pueden eliminar el riesgo por completo. Por lo tanto, a menos que los riesgos residuales de la calidad degradada del agua sean aceptables para todas las partes incluyendo usuarios aguas abajo, un proyecto con estas características se consideraría inaceptable.

MITIGACIÓN DE PAG Y DE LIXIVIACIÓN DE METALES

El informe indica que la mina subterránea se rellenará con desecho de roca y colas, y que si hay desecho de roca sobrante se utilizará para rellenar al cerrarse la mina. No se cita ningún informe hidrológico ni se aborda el tema de la hidrología de la mina rellena luego del cese de la explotación en cuanto a las áreas que se inundarían o drenarían (p. ej. su

exposición a condiciones de reducción o de oxidación respectivamente), el flujo previsto de aguas subterráneas por las excavaciones rellenas, y la geoquímica de esos materiales al igual que los impactos previstos en la calidad del agua subterránea.

Si bien la expectativa en general sería que el relleno reduciría el potencial de drenaje ácido y la lixiviación de metales de desecho de rocas y colas, esto depende totalmente de la ubicación de los materiales con respecto al nivel del agua luego del cese de la explotación. Quizás se puedan mitigar hasta cierto punto los efectos de materiales inundados, pero los materiales por encima de la capa freática seguirían siendo susceptibles a la lixiviación de metales debido a la infiltración de agua meteórica y otras fuentes. Lo que es más importante, sobre todo dada la presencia de arsénico y su movilidad tanto en ambientes de reducción como de oxidación, es que el relleno con desecho de roca y colas puede afectar la cali-

dad del agua subterránea y cualquier cuerpo de agua superficial con el que esté en contacto. Este aspecto debe ser investigado y evaluado exhaustivamente antes de finalizar los diseños de la mina y de la mitigación y debería considerarse en una evaluación de riesgo.

Debido a que el desecho de roca puede generar drenaje ácido muy poco tiempo después de su exposición a la atmósfera (es decir, en semanas), el área de almacenamiento de este material debería ser recubierto con materiales compuestos o en capa doble con sistemas detectores y colectores de pérdidas y filtraciones. Basado en nuestra experiencia en otras operaciones, es probable que el trabajo de rellenado se retrase debido a problemas de operación y logística por lo cual en el diseño debería proveerse una superficie mayor para el almacenamiento del desecho de roca.

La mitigación del potencial de que lixivian metales de las colas filtradas consiste en un revestimiento para prevenir la filtración a las napas de agua subterráneas, y una cubierta de baja permeabilidad para limitar la infiltración de precipitación en la pila de colas. No se brindan detalles sobre la membrana de revestimiento y la cubierta. Sin embargo se presume que, al cerrarse la mina, se necesitará un tratamiento de filtraciones antes de su liberación en el ambiente. Las instalaciones de recolección y tratamiento de filtraciones deberán funcionar hasta que la calidad de agua en los arroyos de suministro llegue a niveles acepta-

bles. En base a la información disponible examinada, estas suposiciones son razonables y conservadoras. Debería considerarse, en una evaluación de riesgo, la necesidad de tratar el agua de forma continua y la capacidad de garantizar el manejo y tratamiento de las colas tanto tiempo como sea necesario.

Los revestimientos siempre pierden. Para llegar a ser confiable, debe especificarse que se trata de un sistema de capa doble con detectores y colectores de pérdidas y filtraciones, junto a procesos adecuados de control y garantía de calidad, supervisión, etc.

SUBSIDENCIA DE LA MINA E IMPACTOS EN LA SUPERFICIE

La propuesta de rellenar la mina con desecho de roca y colas de manera progresiva a lo largo de la explotación es el método más efectivo de reducir y, en la medida de lo posible, prevenir impactos en la superficie a raíz de la subsidencia. Visto que el método de minería propuesto inherentemente se beneficia del rellenado, si bien no lo requiere, debería existir un incentivo para utilizar este método, y que no se encontrara seriamente comprometido. Sin embargo, basado en nuestra experiencia, es probable que se presenten condiciones sub-óptimas para el rellenado y algunas áreas esto se atrase. Por lo tanto, se debe procurar que siempre que sea posible, se lleve a cabo el rellenado al

mismo tiempo que la explotación. A su vez, si bien el relleno posiblemente minimice la subsidencia, se debería considerar en una evaluación de riesgo la posibilidad de que ocurran algunos impactos moderados como resultado de una subsidencia ligera a largo plazo.

ESTABILIDAD DE COLAS

La propuesta de utilizar colas filtradas (secas) forma parte de las mejores prácticas y tecnología en la industria actual para eliminar el riesgo de problemas catastróficos con colas como ocurrió en Mt. Polley, Canadá y en Samarco, Brasil. Con objeto de evitar la saturación de colas filtradas, será importante optimizar los desvíos del agua de lluvia y llevar a cabo la recuperación de manera concurrente en la medida de lo posible.

5. EVALUACIÓN CRÍTICA DEL PROYECTO MINERO PROPUESTO DE RIO BLANCO

a. Consideraciones económicas

Se puede describir al proyecto Rio Blanco de la mejor manera en comparación con otras minas modernas, lo que incluye a minas subterráneas, como un yacimiento relativamente pequeño (2,2 toneladas) de oro (8.8g/t) y plata

(62 g/t) de grado moderado. El propietario propone utilizar técnicas de explotación minera subterránea convencionales a una tasa modesta de 800 toneladas/día, lo que resultaría un proyecto con un tiempo de vida de aproximadamente 7,5 años. El mineral sería procesado utilizando procesamiento por lixiviación con cianuro en batea con recuperación del oro con el proceso de precipitación con zinc Merrill-Crowe y fundición in situ para producir doré de oro y plata. Basado en costos de capital de \$US120M, costos operativos de \$US84,52/tonelada, y precios de metales inferiores a los valores actuales (Au \$U750/oz vs el precio actual de \$US1.265/oz, Ag \$US10,00/oz vs el precio actual de \$US17,07), se espera que el proyecto logre retorno en 3,8 años y resulte en tasas de retorno antes de impuestos de 16.5%, lo que resultará en un valor presente neto (VPN) basado en una tasa de descuento o retorno de 5% (TDOR) de \$US63M.

VIABILIDAD ECONÓMICA GENERAL

Dada la sensibilidad de las reservas y grados de las reservas de mineral, los costos de capital y operativos, y los precios de metales, la TIR después de impuestos proyectada del 16,0% no es impresionante ya que cualquier resultado negativo aún en una sola área podría resultar en una tasa de retorno negativa para el proyecto. Sin embargo, reconocemos también que los precios actuales del oro y la plata mejorarían la economía del proyecto significativamente.

Dados los cambios generales en el mercado de oro y plata, así como el reconocimiento que se utilizaron costos mineros optimistas durante el ciclo económico pasado, recomendamos enfáticamente que la factibilidad del proyecto sea reanalizada y provista al gobierno y al público para su consideración con anterioridad a cualquier puesta en marcha de este proyecto.

La adaptación de cualquier operación minera de escala relativamente modesta a condiciones económicas variantes de acuerdo al clima es siempre limitada debido a los costos de capital y costos de producción. Mientras que las minas subterráneas de alto grado pueden justificar costos más altos, las minas de grado moderado, como Río Blanco, pueden ser extremadamente sensibles a factores de costo. Al final, esto puede resultar en una influencia negativa en términos de adhesión a la mejor práctica de la industria en términos de diseño, construcción, operación y recuperación y cierre, así como llevar al cese prematuro de las operaciones y el potencial abandono de la mina. En nuestra experiencia, incluso las operaciones mineras más éticas y bien intencionadas reducirán los costos asignados a los requisitos ambientales frente a una rentabilidad menor a la deseada, y son susceptibles a una eventual bancarrota. En nuestra opinión, la naturaleza económica inherente específica del sitio de este yacimiento hace que su viabilidad económica y por lo tanto confiabilidad ambiental y social sean inciertas. Es decir, si el momento de la ejecución del proyecto se pla-

nea de manera que las condiciones económicas sean favorables, podría ser rentable, pero existe un riesgo razonable de que el proyecto sufra también condiciones económicas desfavorables y se convierta en una carga para el gobierno y para el público. Por esta razón, si el proyecto es ejecutado, es importante que antes de la construcción y operación, se estime cualquier pasivo para la recuperación y cierre bajo condiciones razonables de peor escenario (por ejemplo, el cierre prematuro) y se establezcan las garantías financieras apropiadas.

b. Consideraciones ambientales

PAG Y LIXIVIACIÓN DE METALES

El estudio de factibilidad (Micon 2006) caracteriza al yacimiento de Río Blanco como si tuviera un riesgo limitado de drenaje ácido (ARD) y ninguna lixiviación de metales. Sin embargo, el estudio contiene la siguiente información contradictoria:

“Pruebas de lixiviación de corto plazo realizadas utilizando el Procedimiento US-EPA SPLP, junto con datos de lixiviado de pruebas de celda de humedad (HCT) para un grupo compuesto de grupos representativos de alteración/mineralización de roca de caja, sugiere que el agua descargada por el portal de la mina será de pH bajo (3.5 – 5) debido a la presencia estrictamente limitada de fases minerales con

capacidad de neutralización en el material de contacto de la roca de caja. Esta descarga estará también moderadamente enriquecida por hierro, aluminio, y arsénico en relación con las aguas de corriente de línea de base” (Micon 2006, p. 128).

“Los contaminantes potenciales que entran en el área de depósito de colas incluyen sulfuros metálicos presentes en la corriente de colas, y cianuro residual. Las pruebas estáticas y análisis SPLP realizadas por los Laboratorios McClelland con colas generadas durante el programa de pruebas metalúrgicas en Rio Blanco indican una capacidad modesta de generación de ácidos (los potenciales netos de neutralización para las colas están en el orden de -20 kg CaCO_3 por tonelada). Las pruebas SPLP han mostrado que la movilización de metales de las colas es insignificante” (Micon 2006, p. 128-129).

Basado en la información provista, es altamente probable que ocurra

drenaje ácido y lixiviación de metales en el sitio. Debido a que la suposición general es que existe un “riesgo limitado,” el potencial de ARD y lixiviación de metales ha sido minimizado y subestimado.

Aunque la expectativa en general sería que el relleno reduciría el potencial de drenaje ácido y la lixiviación de metales de desecho de roca y colas, esto depende totalmente del lugar en que están ubicados los materiales en relación al nivel del agua. Se podría mitigar en cierta medida los efectos de materiales inundados, sin embargo los materiales por encima de la napa freática seguirían siendo susceptibles a la lixiviación de metales debido a la infiltración de agua meteórica y otras fuentes. Lo más importante, sobre todo en vista de la presencia de arsénico y su movilidad tanto en ambientes de reducción como de oxidación, es que el relleno con desecho de roca y colas aún puede resultar en impactos de los desechos de roca y colas en la calidad

del agua subterránea y cualquier cuerpo de agua superficial conectado. Este aspecto debe ser investigado y evaluado exhaustivamente antes de finalizar tanto los diseños de la mina como los de mitigación y debería ser considerado en una evaluación de riesgo.

Debido a que es probable que el desecho de roca genere drenaje ácido, cualquier área de pilas de desecho debería revestirse utilizando ya sea un revestimiento compuesto o un revestimiento doble con detección y recolección de fugas. Basado en nuestra experiencia en otros sitios, es probable que el relleno esté por detrás de lo que podría ser considerado ideal debido a las limitaciones operativas y logística y se deberían considerar en el diseño provisiones para una pila de desechos de roca más grande.

El uso de desecho de roca en un dique de colas u otras áreas del lugar de la mina debería estar fundamen-



tado en la evaluación de su potencial de generación de drenaje ácido y solo se deberían utilizar materiales que no son potenciales generadores de ácido en esos lugares.

No se proveen detalles sobre el revestimiento y cubierta para las colas. Sin embargo, se debería anticipar y requerir el tratamiento de filtraciones al momento del cierre y antes de su descarga al medio ambiente. Las instalaciones de recolección y tratamiento de filtraciones deberán operar hasta que la calidad del agua de las corrientes de suministro llegue a niveles aceptables. Se debería considerar, en una evaluación de riesgo, la necesidad de tratamiento continuo del agua y la capacidad de garantizar el manejo y tratamiento de las colas por el tiempo que sea necesario.

DESCARGA DE LA MINA

De acuerdo con el estudio de factibilidad “Se utilizará un sumidero de sedimentación dentro del portal de la mina para retirar los sólidos totales en suspensión (TSS) de toda el agua de mina antes de su descarga por el portal. Se desplegará un drenaje de caliza con una capacidad de diseño de 20 l/s y un tiempo de residencia de diseño de aproximadamente 60 segundos a lo largo de la vida de la mina para la reducción de concentraciones de metal y metaloide disuelto antes de la descarga en la Quebrada Migsihuigi. Las simulaciones del modelo geoquímico realizadas por WMC del desempeño de este sistema indican que los

niveles de metal serán reducidos hasta estar dentro del rango de la línea de base del cuerpo de agua receptor”. (Micon 2006, p. 128)

Basado en nuestra vasta experiencia en otros sitios mineros, es improbable que un simple drenaje de caliza sea suficiente para la reducción de las concentraciones de metales disueltos, en particular respecto al arsénico. Es más probable que el agua de la mina requiera tratamiento adicional, como ser la ósmosis inversa y/o tratamiento con cal junto con tratamiento adicional específico para el arsénico, como ser precipitación con hierro. Este tipo de circuito de tratamiento es común en los EE.UU. para descargas de mina típica con contenido de drenaje ácido y arsénico. La falla en identificar la mejor tecnología moderna lleva a tener preocupaciones en cuanto a la intención de operar la mina de Río Blanco de una manera ambiental y socialmente responsable.

SUBSIDENCIA DE LA MINA E IMPACTOS EN LA SUPERFICIE

La propuesta de rellenar la mina con desechos de roca y colas de manera concurrente es el medio más efectivo de reducir, y de cierta medida posiblemente evitar los impactos superficiales debido a la subsidencia. Ya que el método de explotación minera propuesto se beneficia inherentemente de relleno, si es que no lo requiere, debería existir un incen-

tivo para practicar este método y no debería verse significativamente comprometido. Sin embargo, basado en nuestra experiencia, es probable que ocurran condiciones menos que óptimas para el relleno y algunas áreas pueden quedar rezagadas, por lo tanto se deben hacer esfuerzos para garantizar que el relleno se realice concurrentemente con la explotación minera en el grado máximo. Además, pese a que es probable que la subsidencia sea minimizada por el relleno, una evaluación de riesgos debería considerar el potencial de que aún ocurran algunos impactos moderados resultantes de la subsidencia en escala pequeña de largo plazo.

ESTABILIDAD DE LAS COLAS

De acuerdo con el estudio de factibilidad (Micon 2006), la mina abordará las colas de mina con la “Incorporación de una estrategia de gestión de colas superficiales altamente conservadora para incluir tanto la destrucción del cianuro y el revestimiento

con geomembrana del depósito de colas propuesto”.

La propuesta de utilizar colas húmedas no es consecuente con la mejor tecnología y práctica actual de la industria para eliminar el riesgo de fallas catastróficas en las colas, como las que ocurrieron en Mt Polley en Canadá y en Samarco en Brasil. Luego de la rotura de la instalación de colas en la mina cuprífera y aurífera de Mount Polley el 1 de agosto de 2014, la provincia de Columbia Británica, junto con dos Primeras Naciones, establecieron un Panel de Ingeniería Experto e Independiente de Investigación y Revisión (el Panel) para investigar la causa del incidente (MPC 2015). Se le pidió al Panel que proveyera recomendaciones sobre acciones que pudieran tomarse para garantizar que fallas similares no ocurran en otros lugares de minas en Columbia Británica.

El Panel recomendó que la Mejor Tecnología Disponible (MTD) para la ges-

tión de colas se concentre en la meta de garantizar la estabilidad física de las colas y se base en tres componentes:

1. Eliminar el agua superficial del embalse.
2. Promover condiciones no saturadas en las colas con provisión de drenaje.
3. Lograr condiciones dilatadoras en todo el depósito de colas por compactación.

El objetivo principal de aplicar MTD es lograr la estabilidad física en las operaciones y cierre. El Panel reconoció la importancia de la estabilidad química de las colas y los efectos adversos de eliminar las cubiertas de agua y/o promover condiciones no saturadas en lixiviación potencialmente ácida o neutral de una instalación de colas, pero señaló que “Ningún método para lograr estabilidad química puede tener éxito sin garantizar primero la estabilidad física: la

estabilidad química requiere sobre todo que las colas permanezcan en un solo lugar” (MPC 2015).

En vista de esto, el Panel identificó a las colas filtradas (pila seca) como “un candidato principal” para la MTD para la gestión de colas y recomendó que:

“Se debería fomentar activamente la MTD para instalaciones nuevas de colas en minas existentes y propuestas. Se deberían evaluar los atributos de seguridad separados de las consideraciones económicas, y el costo no debería ser un factor determinante”.

Respecto al análisis de costos, el Panel señaló que:

“Las estimaciones de costos para los diques de colas convencionales no incluyen los costos de riesgos, ya sean directos o indirectos, asociados con la falla potencial. El caso de Mount Polley enfatiza la magnitud de los costos directos de limpieza, pero las pérdidas indirectas – notablemente en la capitalización del mercado – pueden ser aún mayores. Los procedimientos estándar de determinación de costos tampoco consideran externalidades, como ser los costos añadidos que se acumulan para la industria en general, algunas de ellas difíciles o imposibles de cuantificar. Consideración plena de los costos durante el ciclo de vida, lo que incluye al cierre, los pasivos ambientales, y otras externalidades proveerán un panorama económico más completo. Pese a que los factores económicos no pueden ser

descuidados, tampoco pueden seguir siendo un entrabe para el uso de la mejor tecnología”.

Es nuestra recomendación enfática que se dé consideración al uso de un proceso de colas filtradas en vez del proceso de colas húmedas para el proyecto Rio Blanco.

6. IMPACTOS AMBIENTALES PROBABLES DE LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS PROYECTOS LOMA LARGA Y RÍO BLANCO Y SUS EFECTOS EN LOS MEDIOS DE VIDA LOCALES

El proyecto Loma Larga, conforme su presentación actual, es preliminar y conceptual, y requiere de mayores estudios y datos incluyendo testeos metalúrgicos, estudios y evaluaciones geotécnicos, estudios hidrogeológicos, estudios ambientales de línea de base y testeos geoquímicos, y testeos necesarios para el proceso de relleno. El nivel de información disponible en este momento no permite una proyección precisa de los retos ambientales, la mitigación necesaria, o los resultados ambientales más probables del proyecto propuesto. Sin embargo, y como se indica a continuación, los impactos ambientales potenciales del proyecto propuesto son significativos y requieren una cuidadosa consideración y si el proyecto continúa, se requiere

una mitigación adicional más allá de la que los operadores del proyecto presentan en la actualidad.

El proyecto Río Blanco es un proyecto más avanzado; sin embargo, la información económica es desactualizada y los análisis y enfoques ambientales son exageradamente optimistas y no están al día de la manera presentada. La información presentada sugiere que es probable que el drenaje ácido y lixiviación de metales, incluyendo arsénico, sean problemáticos y las medidas de mitigación propuestas sean inadecuadas para prevenir impactos ambientales y sus costos asociados mayores que los predichos. El potencial de impactos es significativo y se debería prestar mayor consideración al proyecto, y en particular se debería requerir mitigación adicional y garantía financiera adecuada.

a. Riesgos de drenaje ácido de la mina y lixiviación de metales pesados

En ambos proyectos, existe un riesgo significativo de drenaje ácido de la mina y de lixiviación de metales incluyendo arsénico. La información disponible indica que la empresa reconoce este riesgo en sus estudios de pre-factibilidad, y que también se reconoce en los datos, junto a la necesidad de mitigar el riesgo.

Los riesgos asociados al drenaje ácido de la mina y a la lixiviación de metales en ambos proyectos les otorgan un

índice de riesgo comparativamente más elevado que el de la mayoría de las minas. Si bien las medidas de mitigación incluyendo el relleno con desecho de roca y colas son consecuentes con las mejores prácticas en la industria en la actualidad, el propósito de estas prácticas es reducir o minimizar y no eliminar posibles impactos. A su vez, estas prácticas requieren de operaciones y mantenimiento continuos por un largo período luego del cese de operaciones (p. ej. décadas o siglos). Asimismo, estas prácticas no eliminan la necesidad de contar con un depósito de colas en la superficie y el manejo de esas instalaciones a largo plazo.

b. Riesgos debidos a la liberación de arsénico

Vista la presencia de arsénico en alta concentración en ambos proyectos, existe un riesgo significativo de que el arsénico entre en solución y afecte las fuentes de agua. Es posible que el arsénico contenido en el desecho de rocas y las colas utilizados como material de relleno lixivie, así como que potencialmente el arsénico contenido en el material de los alrededores que no ha sido minado sea movilizado por efecto del agua neutra o alcalina debido al agregado de otros productos al material de relleno, tal como cemento.

Si bien no esperaríamos que las emisiones aéreas de arsénico contaminen los recursos terrestres cercanos, esto de-



pende del manejo de las fuentes de desechos como se ha descrito, incluyendo medidas adecuadas para controlar el polvo, y de la implementación de controles institucionales permanentes para proteger las medidas de mitigación tales como la protección y mantenimiento de las cubiertas de recuperación y sistemas de recolección y tratamiento de agua.

c. Implicancias del consumo de agua de la mina

Conforme indica el informe de Loma Larga (RPA 2015), es necesario llevar a cabo estudios hidrogeológicos para comprender el impacto del agua subterránea en la mina subterránea y los requerimientos de soportes, y drenaje de agua. De igual manera, con esta información no es posible determinar las implicancias del consumo de agua de la mina en cuanto a la calidad ni la cantidad de recursos hídricos loca-

les o regionales. Sin embargo, dada la ausencia de mayor información deberían preverse implicancias significativas que requerirán de medidas de mitigación adicionales a las que se proponen. Similarmente, es probable que el proyecto Río Blanco tenga impactos significativos y se deben realizar estudios hidrogeológicos adecuados en dicho lugar para evaluar los impactos potenciales.

d. Degradación de la calidad y cantidad de agua

Las operaciones mineras propuestas presentan una posibilidad significativa de impacto tanto en la calidad como en la cantidad de agua debido al potencial de drenaje ácido y lixiviación de metales, y a su proximidad a los recursos hídricos subterráneos y en la superficie. Si bien las medidas de mitigación probablemente reduzcan o minimicen los impactos, visto el carácter descrito de los proyectos,

es poco probable que esas medidas prevengan por completo los impactos y es probable que surjan costos no anticipados y/o daños a los recursos a raíz de estos proyectos conforme su planificación actual.

e. Destrucción de hábitats y de un ecosistema (páramo) cuya integridad es primordial para la recarga de agua/regulación hídrica y la captura de carbono

Es probable que el proyecto propuesto de Loma Larga resulte en impactos localizados del ecosistema del páramo debido principalmente a los impactos hidrológicos pero también a la calidad del agua.

De igual manera, el proyecto propuesto de Río Blanco probablemente resulte en impactos localizados del ecosistema del páramo debido principalmente a los impactos hidrológicos como también a la calidad del

agua. Sin embargo, debido a que pretende almacenar las colas en la forma húmeda, el proyecto Río Blanco también tiene el potencial de resultar en impactos catastróficos tanto a nivel local como regional.

7. ESTIMACIONES DE COSTO

a. Cierre de la mina

Las actividades previstas para el cierre del proyecto Loma Larga (RPA 2015) consisten en lo siguiente:

- Relleno del portal de acceso de la mina subterránea y cobertura de chimeneas de ventilación
- Desmantelamiento y demolición de la construcción e infraestructura.
- Ubicar el resto de los desechos de roca bajo tierra y recuperar el área donde se hallaban.
- Construir cubierta de depósito de colas.
- Continuar monitoreo y tratamiento de filtración de colas según sea necesario.
- Eliminar represas para manejo del agua a menos que se necesiten.
- Monitoreo de la estabilidad química y física por un máximo de diez años al cabo del cierre.

De acuerdo al informe de Loma Larga (RPA 2015) la estimación del costo conceptual de cierre es de \$4.2 millones. No se brindan detalles sobre la estimación, y el análisis del flujo de caja indica que es un costo global que ocurre en el año 15 de la vida del proyecto. La estimación del costo de recuperación y cierre disponible no permite una evaluación significativa ya que carece tanto de detalles como de fundamento. El monto parece ser para actividades de recuperación y monitoreo y muy probablemente no toma en consideración el tratamiento de agua al cabo de la recuperación.

Las actividades de cierre de mina para el proyecto Río Blanco no están descritas específicamente en el estudio de factibilidad de Micon 2006. De acuerdo con el estudio "Un total de \$US1.000.000 ha sido estimado para la rehabilitación del lugar de la mina luego del cierre de operaciones. WMC detallará el plan de cierre en el EIA". De acuerdo con San Luis Minerales (2011 p. 8-209) un total de \$US1.875M ha sido planificado para el cierre.

En circunstancias típicas, esperaríamos que la recuperación y cierre de la mina cuesten entre \$US5-10M para las minas subterráneas con depósitos para desechos de roca y colas. Pese a que se pueden esperar algunas medidas, como el relleno, si se logra y termina completamente en el momento del cierre de la mina, para reducir los costos de recuperación, éstas no pueden ser garantizadas hasta que hayan sido

concluidas. Esperaríamos que sean necesarios entre \$US10-\$20M de capital total y costos operativos si se requiere de gestión y tratamiento de agua en cualquiera de los sitios mineros. Recomendamos enfáticamente que los costos de recuperación y cierre sean estimados con métodos detallados de ingeniería convencional y para la estimación de los requerimientos de garantía financiera, que se incluyan supuestos de peor escenario razonables, como ser cierre temprano y gestión y tratamiento de agua para un periodo de 100 años. Debería conseguirse garantía financiera en la forma de un fondo de fideicomiso aceptable u otro equivalente para efectivo antes de permitir los proyectos y éstos deberían mantenerse a lo largo de la vida del proyecto, lo que incluye después del cierre de la mina hasta que todos los impactos hayan sido identificados y abordados.

b. Necesidad de tratamiento y monitoreo del agua

Partiendo de nuestra experiencia e información de otros sitios parecidos, es probable que luego de la recuperación sea necesario tratar el agua de las colas. La cantidad dependerá en un principio del punto en que se pueda mantener la composición de las colas filtradas no saturadas después de que se hayan vertido en el depósito de colas y antes de que se aplique la cubierta de recuperación, y de

la efectividad de la cubierta en sí. La ubicación de las colas sobre aguas subterráneas poco profundas agrava esta necesidad, al igual que la probabilidad, cuando no certeza, de que se desgarre el revestimiento donde yacen las colas, requiriendo algún tipo de captación y tratamiento de aguas subterráneas. Es posible que en un principio exista una gran necesidad de tratar el agua, y que luego ésta se vuelva mucho menor al cabo de la recuperación, y aumente paulatinamente durante el cierre. Si bien en este caso no consideramos que los requerimientos de captación y tratamiento de aguas sean onerosos, los costos operativos, de mantenimiento y repuesto a lo largo del tiempo podrían volverse significativos.

No se indican provisiones para manejar los posibles impactos en la calidad del agua debido al relleno de la mina subterránea una vez terminadas las operaciones. Dependiendo de diferentes factores como son la geoquímica y geohidrología puede que sea necesario mitigar efectos en el agua subterránea y/o de la superficie.

Visto que se dispone únicamente de información limitada sobre la efectividad a largo plazo de medidas de mitigación como los sistemas de revestimiento aislante y coberturas, resulta difícil predecir la efectividad de esos sistemas. A su vez, resulta difícil predecir todo requisito para mitigar el efecto del arsénico asociado con el rellenado de la mina subterránea. En vez de brindar información que in-

dique otra cosa, sugerimos que se utilice un caudal (2000 lpm) y plazo de tratamiento (100 años) conservadores para evaluar las necesidades y costos del tratamiento del agua.

c. Costos versus beneficios potenciales para el estado

Power (1994) ha documentado claramente el hecho que la minería resulta en una economía con ciclos de prosperidad y depresión tanto en los EE.UU. como en otros lados, y en al menos algunos casos concluye que “la minería contribuye muy poco al desarrollo de la economía local como para justificar las cicatrices que deja en el ambiente local y la perturbación de las comunidades locales”.

En el caso de los proyectos propuestos, el informe de Loma Larga (2015) sugiere que el proyecto resultará en ingresos al estado por impuestos de \$163M. El proyecto Río Blanco tendría beneficios parecidos. Además, para ambos proyectos, los beneficios en cuanto a salarios para trabajadores, pago por servicios y otros pagos serán significativos. Sin embargo, el sinnúmero de impactos para la economía y servicios locales que ocurrirán durante la fase de desarrollo, y luego la fase de operaciones que probablemente sufrirá fluctuaciones a corto plazo, seguido del cierre de la mina pesan mucho más que los beneficios. Cabe resaltar que este período sería relativamente corto

para el proyecto Río Blanco lo que podría exacerbar los impactos negativos.

En ambos casos, los costos potenciales versus los beneficios potenciales dependen más que nada de las circunstancias. Si los precios de los metales llegan a niveles records durante un período sostenible y los proyectos propuestos se diseñan, permiten, operan, regulan, recuperan y cierran, y se brinda una garantía financiera adecuada para el resto de los costos, es posible que los beneficios sean mayores que los costos. Por otro lado, si prevalece la situación reciente en cuanto al deterioro de los precios de los metales y el diseño, operación, regulación, recuperación y cierre de las minas no es ideal y no se brinda una garantía financiera adecuada para el resto de los costos, no es sólo posible, sino de hecho probable, que en el futuro se considerará que los costos potenciales habrán ampliamente superado todo beneficio a corto plazo.

IV. Conclusiones y recomendaciones

En la minería de hoy en día, no sólo se necesita ser competente en las mejores prácticas de la industria en relación a todos los aspectos ambientales, sino que también se requiere un yacimiento mineral relativamente robusto en cuanto a tamaño y ley para garantizar que el proyecto sea económicamente viable.

El yacimiento propuesto de Loma Larga no es robusto y las medidas de mitigación propuestas no son adecuadas, sobre todo con respecto a la posibilidad de tener que realizar tareas de monitoreo y tratamiento de aguas a largo plazo. Dados los precios actuales de los metales, el proyecto no es económico y hasta que no se adquiera y evalúe mayor información en cuanto a las reservas de mineral, hidrología, geoquímica y otros aspectos clave, junto a la certeza de un aumento en los precios de los metales por un período razonable (como podrían indicar contratos de venta a término), consideramos que el proyecto Loma Larga no es viable desde las perspectivas técnica y económica, e impone un riesgo ambiental considerable. Recomendamos que toda propuesta para el desarrollo en sí de este proyecto esté acompañada por la información económica y ambiental necesaria y que el proyecto se evalúe reconociendo los considerables riesgos económicos y ambientales.

El proyecto Río Blanco propuesto es un proyecto minero subterráneo relativamente pequeño con una economía altamente sensible y una vida de la mina corta. La información económica y ambiental provista no está al día. Los impactos, particularmente en relación al drenaje ácido (ARD - acid rock drainage), descargas de arsénico de las operaciones mineras y de las características de la mina después de la recuperación, han sido subestimados y no han sido identificados o tratados adecuadamente. Recomendamos que este proyecto sea sometido a análisis económicos y ambientales adicionales, y su fuera procedente, se debe establecer una garantía financiera adecuada para la clausura bajo condiciones menos que ideales (por ejemplo, condiciones razonables de peor escenario) como exigir gestión y tratamiento de agua de largo plazo del lugar de la mina, además del riesgo de descarga del depósito de colas.

Debido a la poca viabilidad financiera de ambas minas, y la falta de supervisión establecida en cuanto al cumplimiento de regulaciones, junto a la clara presencia de características prevalentes de drenaje ácido y lixiviación de metales, estas minas no deberían ser desarrolladas.

V. Bibliografía

- Agricola, Georgius. 1556, *De Re Metallica*. Hoover, H., and Hoover, L.H. eds. Dover Publications. 378 pp. 1950.
- Buytaert, W., et al. Human impact on the hydrology of the Andean páramos, *Elsevier Press, Earth-Science Reviews* 79 (2006) 53–72
- Gregory, C. *A Concise History of Mining*: Pergamon Press, 195 pp.
- Grmela, Arnost. Protection of ground water resources quality and quantity in mining areas:in *Mine Planning and Equipment Selection*. Strakos, Kebo, Farana, and Smutny (eds.), Balkema Publishing, Rotterdam, pp. 865-872. 1997.
- Kratzsch, Helmut. *Mining Subsidence Engineering*. Fleming R.F.S., Trans. Springer- Verlag New York 1983. pp1-40, pp183-185, pp250-251, pp283-286, pp332-334, pp363-442, y pp501-503.
- *Mine Subsidence*. Singh, Madan M. ed. Society of Mining Engineers, Littleton, CO, 1986. AIME. pp.73-143.
- *Mining Environmental Handbook*. Marcus, Jerrold J. Imperial College Press, London. 1997.
- *Mount Polley Commission (MPC) Independent Expert Engineering Investigation and Review*
- Panel. 2015. *Report on Mount Polley Tailings Storage Facility Breach (Report of Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel)*. 30 de enero.
- Norton, P. J. *Mine Cierre and Associated Hydrological Effects on the Environment: Some Case Studies*. Minerals, Metals and the Environment II. Prague conference, 3-6 Sept. 1996. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1996. p. 263-270.
- Park, D.W. *Effect of Mine Subsidence on Groundwater Hydrology*. Society of Mining Engineers. AIME. no.87-98. 1987. 8 pp.
- Power, Thomas Michael. *Lost Landscapes and Failed Economies: the search for a value of place*. Washington, D.C.: Island Press, 1996. 304pp.
- Singh, Madan M., 1992, *Mine subsidence (Chapter 10.6) in SME Mining Engineering Handbook*. Hartman, Howard L. Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Port City Press, Baltimore. SME, pp. 938-971.
- Singh, R.N., and Atkins, A.S. *Design Considerations for Mine Workings Under Accumulations of Water*. *International Journal of Mine Water*. no. 4. dic. 1982. pp.35-56.
- Thunvik, R. and Braester, C. *Water Influx into Large Underground Cavities*. Society of Mining Engineers of AIME, Transactions Vol.268. pp1784-1786.
- Whittaker, B. N., and Reddish, D.J. *Subsidence—Occurrence, Prediction and Control*: Elsevier, 528 pp. 1989.

Las opiniones que se expresan en este documento se basan en el material evaluado y el conocimiento y la experiencia profesional del autor en relación a las mejores prácticas en la industria global y el diseño, permisos, construcción, operación, recuperación y cierre de minas de roca dura al igual que el tratamiento de agua y garantía financiera.

