

PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

MANUAL PARA EL ANÁLISIS Y LA EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

BORRADOR EN PARTE GENERAL

PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

MANUAL PARA EL ANÁLISIS Y LA EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

INDICE

Este Manual ha sido elaborado, con el auspicio de ASGMI, por el siguiente Grupo de Trabajo:

Gerardo Iván Zamora Echenique (coordinador), Universidad Técnica de Oruro, Bolivia
Julio César Arranz González, IGME, España
Santiago José Muñoz Tapia, Servicio Geológico Nacional, República Dominicana
Omar Raúl Lapidó Barzi, SEGEMAR, Argentina
Fredy Guzmán Martínez, SGM, México
Cecilia Adasme Aguilera, SERNAGEOMIN, Chile.

Agosto de 2010

PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

MANUAL PARA EL ANÁLISIS Y LA EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

1. INTRODUCCIÓN

La explotación de yacimientos mineros en Iberoamérica es una actividad que data de hace varios siglos, siendo milenaria en la Península Ibérica. En su origen se utilizaban métodos rudimentarios para extraer los minerales desde ricas vetas de oro, plata y cobre. Con el desarrollo industrial los procesos se fueron tecnificando hasta llegar a los sofisticados procedimientos que se aplican hoy en día.

Como consecuencia de esta actividad minera, y también minero-industrial, en la mayoría de los países quedaron numerosas minas e instalaciones en estado de abandono sin que muchas de ellas se hayan sometido a un proceso adecuado de cierre, lo que ha significado que en la actualidad haya numerosos lugares en los que se presentan escenarios de riesgo para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente. La percepción negativa que buena parte de la opinión pública tiene de la minería se debe, por un lado, a los impactos y riesgos ambientales asociados tanto a los pasivos como a operaciones activas que incumplen normativas ambientales vigentes; y por otro, a los impactos sociales que estos podrían representar. Los terrenos alterados por minería y abandonados a su suerte (*orphan*, en terminología anglosajona) generan reflexiones tales como las que se reproducen a continuación (Balkau, 1999):

- La degradación de recursos que suponen es un problema de todos;
- los fundamentos para la rehabilitación son los mismos que los que puedan ser aplicados en explotaciones en activo;
- es inevitable incluirlos como parte del más amplio debate sobre el desarrollo sostenible asociado a la minería;
- es parte importante del problema de imagen de la minería en su conjunto, pudiendo tener consecuencias para la futura concesión de permisos o autorizaciones de explotación.

Como consecuencia de todo lo anterior, se hace necesario, o cuando menos aconsejable, que se tomen medidas para enfrentar estas amenazas para la salud y el medio ambiente, dando pasos para la solución o mitigación del riesgo, desde el inventariado y caracterización de los sitios mineros abandonados, pasando por la evaluación del riesgo que entrañan, hasta la propuesta de medidas de rehabilitación, remediación o, al menos, mitigación de tales amenazas.

Este manual pretende ser un documento básico para el análisis y la evaluación de riesgos ambientales asociados a los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), y es fruto del trabajo de un grupo de profesionales de los Servicios Geológicos miembros de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI). Pretende dar continuidad a las tareas iniciadas en cumplimiento de los acuerdos alcanzados en el seminario "*Evaluación y recuperación ambiental de espacios mineros. Pasivos ambientales mineros*" que, organizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), tuvo lugar en el Centro de Formación de la AECID en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, durante los días 14 al 17 de octubre de 2008.

Un año más tarde, en octubre de 2009, con la misma organización y sede, se celebró una segunda edición del seminario con la participación de representantes de los Servicios Geológicos de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, México, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela. En este

segundo encuentro, además de la presentación de diferentes casos de estudio, se presentaron los resultados alcanzados por el grupo de trabajo constituido un año antes, se consensuó el diseño y contenido de la Ficha-Inventario y se emprendieron los trabajos que llevaron a la redacción del “Manual para el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros y Minas Abandonadas o Paralizadas”, el cual fue presentado a la XVII Asamblea General de ASGMI para su aprobación y eventual aplicación por todos los Servicios Geológicos del ámbito iberoamericano.

El presente manual, aborda el análisis y la evaluación de riesgos de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM). Pretende, por tanto, establecer una metodología común para la segunda etapa del modelo de Gestión de Pasivos Ambientales Mineros, descrito sucintamente en el apartado 3 de este manual, en el que se consideran tres etapas: 1) Identificación, inventario y caracterización de las minas abandonadas; 2) Clasificación de los PAM y evaluación de riesgos; y 3) Priorización y propuestas de remediación de los PAM. Como el anterior, es fruto del trabajo de un grupo de profesionales de los Servicios Geológicos miembros de la ASGMI, constituido a tal fin en cumplimiento de los acuerdos alcanzados en el taller “Evaluación y recuperación ambiental de Pasivos Ambientales Mineros” que, organizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), tuvo lugar en el Centro de Formación de la AECID en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, durante los días 24 al 28 de Mayo del 2010.

En definitiva, en la medida en que la minería abandonada, y especialmente sus residuos, constituye una real amenaza para la salud y el medio ambiente al tiempo que una materia de interés para los servicios geológicos, con este manual se trata de unificar de forma consensuada entre los profesionales de los Servicios Geológicos miembros de ASGMI los criterios y metodologías de trabajo aplicables en los procesos de análisis y evaluación de riesgos ambientales de los espacios mineros abandonados, lo que hará posible establecer prioridades de actuación sobre los elementos inventariados.

2. DEFINICIONES

Teniendo en cuenta que la terminología y léxico de la minería no es exactamente igual en todos los países de la comunidad iberoamericana ni, como consecuencia, la empleada en los Servicios Geológicos miembros de ASGMI, en este apartado se definen algunos términos fundamentales que van a ser ampliamente utilizados en este manual. Una más amplia recopilación de términos fue recogida a modo de glosario en el Anexo I del “Manual para el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros y Minas Abandonadas o Paralizadas”.

A efectos prácticos, los Pasivos Ambientales Mineros son aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente.

Mina Abandonada: es aquella de la cual su dueño hace dejación con el ánimo de desprenderse del dominio de la misma.

Mina Paralizada: es aquella que se encuentra detenida por cualquier causa, sea temporal o definitiva, excluyendo detenciones por razones operacionales, de mantenimiento u otras habituales en una instalación minera en operación.

Peligro: Es la existencia o aparición de una circunstancia que puede causar potencialmente pérdidas o daños.

Remediación: el conjunto de acciones y medidas adecuadas para el control, reducción o eliminación del riesgo, para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente, de un pasivo ambiental minero, hasta un grado tal que el riesgo se reduce a un nivel aceptable o no significativo.

Riesgo: estimación o medida conjunta de la probabilidad y la severidad de las consecuencias de un efecto

adverso para la vida, la salud, la propiedad o el medio ambiente.

3. GESTIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

El modelo de Gestión de Pasivos Ambientales Mineros propuesto para ser implementado por los Servicios Geológicos miembros de ASGMI considera el desarrollo de las siguientes fases:

- a) Inventario y caracterización de minas abandonadas y paralizadas;
- b) evaluación de riesgos y clasificación de minas abandonadas y paralizadas;
- c) priorización y propuestas de remediación de las minas abandonadas y paralizadas de mayor riesgo.

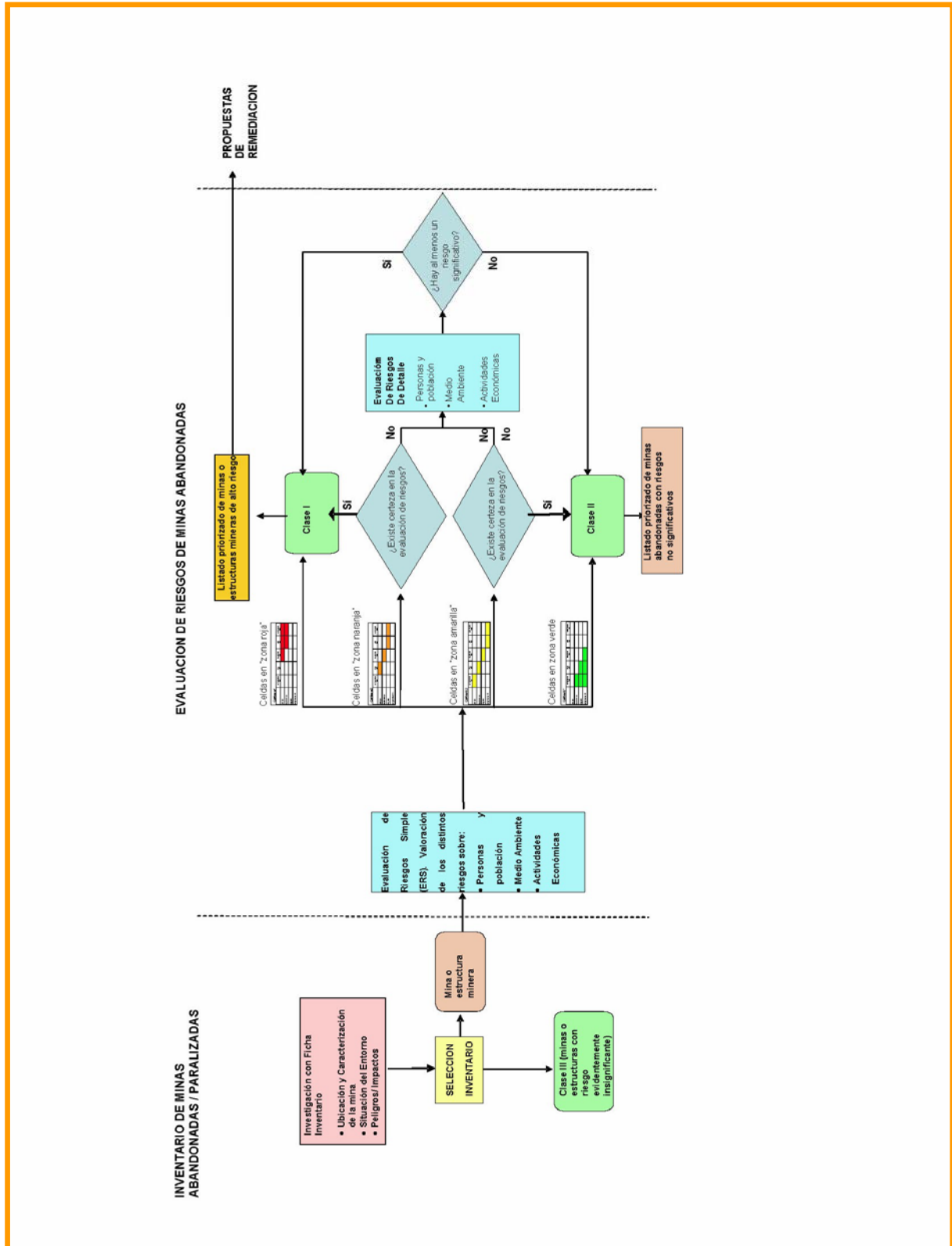
Como consecuencia del desarrollo de los primeros trabajos realizados se llegaba a proponer un modo de inventariar y de crear una base de datos. El presente “Manual para el Análisis y la Evaluación de Riesgos Ambientales en Minas Abandonadas o Paralizadas” aborda exclusivamente la segunda parte del modelo de gestión de pasivos mineros (ver Figura 1), la cual ha de partir de un inventario uniforme, preferiblemente completo o muy avanzado, de las minas abandonadas o paralizadas incluidas en un territorio (nacional, provincial, departamental, etc.), así como de la recopilación de la información disponible que se considere necesaria o útil. Si se emplea el modelo de ficha inventario aprobado por la ASGMI, se dispondrá de una valoración preliminar de los riesgos e impactos visibles en todas las minas o estructuras mineras inventariadas, o cuando menos, será fácil descartar las que razonablemente no representan un problema, ya sea por su escasa entidad, su situación en lugares muy remotos, las evidencias de la recuperación del ecosistema sin intervención del hombre, etc.

La segunda fase del proceso se ocupa de evaluar los escenarios de riesgo que se presentan en las minas abandonadas/paralizadas o pasivos mineros y sus efectos sobre las personas, la población, las actividades económicas y el medio ambiente. Dicho estudio tiene como objetivo clasificarlas en orden de prioridad por el riesgo ambiental que representan. Conviene dejar claro que el objetivo final de la jerarquización de prioridades de actuación es la elaboración de planes o proyectos de restauración, rehabilitación o remediación que intenten resolver lo más urgente en un contexto de medios económicos y materiales siempre limitados, para después continuar, siguiendo el orden de prioridades establecido, hasta donde sea posible o deseable. Normalmente esa priorización elaborada con información homogénea y siguiendo un método de evaluación de riesgos debería ser suficiente para la elaboración de las propuestas que los Servicios Geológicos pueden hacer en relación con los lugares donde es más urgente actuar. Otras consideraciones (económicas, políticas, diplomáticas, etc.) pueden hacer que ese orden de prioridades se modifique finalmente. No obstante, también conviene destacar que si se decide actuar sobre las que encabezan la teórica lista de prioridades de actuación, será necesario realizar nuevos trabajos de prospección de mucho mayor detalle de cara a definir criterios y objetivos, y para diseñar medidas al nivel que requiere un proyecto de remediación o rehabilitación. Esto es importante: no es necesario en esta fase conocer todos los aspectos que pueden ser relevantes para una remediación de todos los emplazamientos o pasivos mineros, pues podrían tratarse de cientos o miles en un solo inventario. Lo que se necesita es tener una información uniforme de los mismos (inventario de fichas) y una metodología sencilla y a la vez sistemática que permita priorizar aun a riesgo de cometer algún error, pero que garantice lo suficientemente bien que los lugares de mayor problemática van a destacar y a situarse en “posiciones altas de la lista de prioridades”.

Con estas premisas y para terminar este punto, es necesario reconocer que la valoración ambiental de los emplazamientos y la elaboración de un listado ordenado de prioridades de actuación pueden hacerse de diversas formas. En ocasiones se ha optado por la simple consideración del juicio experto de una sola persona (lo que no parece siempre muy conveniente). Otras veces se establece el orden de prioridades (*ranking*) a partir de la opinión conjunta de un equipo de expertos pluridisciplinar, mediante un método de tipo *Delphi*, o con el apoyo de una fórmula sistemática de desagregación en componentes. Sin embargo, diferentes iniciativas han ido dejando claro que los métodos de evaluación de riesgos ambientales se prestan de forma excelente al objetivo de establecer prioridades de actuación sobre territorios con abundante minería abandonada, destacando iniciativas en Canadá (sobre todo en territorios del norte) (Nahir, 2006), en Reino Unido (Johnston, Parker & Pritchard, 2007; Jarris, Fox, Gozzard, Hill, Mayes & Potter, 2007) y especialmente en Chile

(SERNAGEOMIN-BGR, 2008).

Figura 1. Modelo de Gestión de Pasivos Ambientales Mineros (modificado de SERNAGEOMIN-BGR, 2008).



4. PASIVOS AMBIENTALES MINEROS Y SUS EFECTOS SOBRE EL MEDIOAMBIENTE Y LA SALUD HUMANA

4.1 Componentes e instalaciones de un sitio minero abandonado

En cualquier tipo de minería, se debe tener en cuenta los procesos productivos más comunes que se desarrollaban en el pasado. En la Tabla 1 se señalan los principales procesos de beneficio minero de las diferentes modalidades de minería.

Tabla 1: Tipos de minería y procesos de beneficio comúnmente presentes en sitios mineros abandonados (modificado de SERNAGEOMIN-BGR, 2008).

Procesos	Oro-Plata	Cobre	Otros Metales Base (Zinc, Plomo)	Hierro	Carbón	Rocas y Minerales Industriales
Clasificación y lavado	X				X	X
Trituración y molienda		X	X			X
Corte y elaboración						X
Amalgamación	X					
Cianuración – (Merril Crowe, SX)	X					
Concentración Magnética				X		
Flotación	X	X	X			
Fundición		X	X			
Concentración Gravimétrica	X		X		X	
Lixiviación (pilas, estanques, botaderos)		X				
Tostación	X		X			

Debido a las diferentes operaciones necesarias para la realización del beneficio minero, en una mina abandonada/paralizada es normal la existencia de un conjunto de obras e instalaciones remanentes, tales como subestaciones eléctricas, plantas de tratamiento, fundiciones, refineras, edificios de maestranzas, talleres, campamentos, bodegas, polvorines, almacenes, depósitos de residuos, y, en general, obras e infraestructuras que fueron necesarias para el funcionamiento de la operación minera (véase la Tabla 2). Como es lógico, estas obras e instalaciones se situarán normalmente, aunque no siempre, en las cercanías de los lugares de extracción, en los que será posible encontrar: huecos mineros, frentes de explotación, pozos y galerías. En

general lo razonable es registrar en fichas de inventario independientes aquellos casos en los que las instalaciones pertenecientes a una mina abandonada se localicen separadas por distancias que implican diferentes ambientes, es decir, donde cada instalación tiene diferente entorno, como por ejemplo: una mina situada en zona despoblada mientras que la planta de tratamiento y el depósito de residuos se ubican cerca de una población.

Tabla 2. Componentes e instalaciones de un sitio minero abandonado

Componente	Instalaciones / Acopios / Obras
Mina	Labores Subterráneas Labores Superficiales (cielo abierto)
Plantas	Planta de beneficio
Residuos Mineros	Depósitos de relaves o lodos Ripios de lixiviación Escombreras o botaderos de desmonte, de estéril, de minerales de baja ley Depósitos de escorias
Residuos Químicos e Industriales	Acopios de polvos de fundición y de tostación Soluciones de descarte Residuos de laboratorio, envases de productos químicos Acopio de chatarra Transformadores
Infraestructura	Polvorines Oficinas, campamentos Talleres, bodegas Redes y estanques de agua Aparcamientos, caminos y puentes Tendidos y subestaciones eléctricas

4.2. Tipos de riesgos asociados a las minas abandonadas/paralizadas

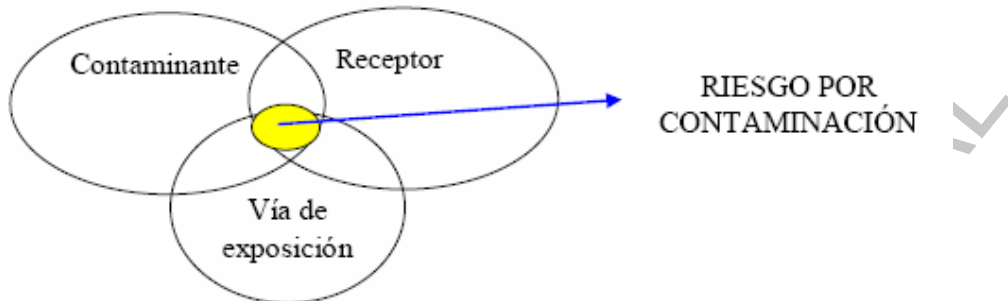
La práctica totalidad de las estructuras mineras e instalaciones abandonadas anteriormente enumeradas puede dar lugar a situaciones de riesgo, tanto las que afectan a la seguridad física, como aquellas otras relacionadas con procesos de contaminación, y siempre considerando que ambos tipos de situaciones pueden afectar negativamente a las personas, al medio ambiente o a las actividades económicas.

Cuando se habla de *riesgo por contaminación* se requieren tres componentes (ver Figura 2):

- tiene que haber un “contaminante” presente en concentraciones tales que pueda generar efectos no deseados en los receptores;
- tiene que haber al menos un “receptor”; y
- tiene que haber una “vía de exposición” mediante la cual el receptor entre en contacto directo con el contaminante.

Este tipo de riesgo requiere de un vehículo (el suelo, el aire o el agua) para que el elemento contaminante alcance a los receptores y produzca los efectos no deseados. Normalmente los efectos negativos de la contaminación sobre los receptores se manifiestan en períodos prolongados de tiempo. La ausencia de cualquiera de estos tres elementos hace que no exista riesgo. Por ejemplo, un depósito de relaves seco (contaminante) cuyas partículas son inhaladas (vía de exposición) por la población (receptores), constituiría un riesgo por contaminación el cual reúne los tres elementos, por lo que procede su evaluación.

Figura 2. Interacción entre contaminante-vía de exposición-receptor

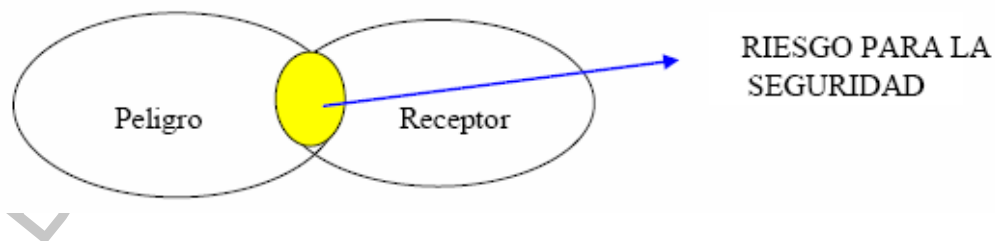


Por otra parte, para que haya un *riesgo para la seguridad* de las personas, el medio ambiente o las actividades económicas, deben encontrarse presentes dos elementos (ver Figura 3):

- tiene que darse una situación que pueda generar daño físico en los receptores: fuente de riesgo o "peligro";
- tiene que haber un "receptor" potencial que pueda ser afectado por el peligro.

Los riesgos relacionados con la seguridad, tales como accidentes, caídas, derrumbes, contacto directo con productos corrosivos, etc., requieren de una exposición directa ante el peligro y los efectos suelen manifestarse de forma inmediata.

Figura 3. Interacción entre peligro-receptor



4.3. Procesos de contaminación asociados a minas abandonadas y pasivos ambientales mineros

Uno de los mayores riesgos que emanan de los PAM es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La contaminación de las aguas puede producirse debido a la liberación de elementos o sustancias tóxicas contenidos en los residuos mineros y desde las instalaciones mineras, los tajos abiertos y las minas subterráneas entre otros.

Existen diferentes fuentes y mecanismos de liberación de estos contaminantes. La mayor fuente de tales

contaminantes son elementos y/o sustancias que se encuentran naturalmente en los residuos mineros y, de menor importancia, también las sustancias químicas y reactivos que se usan en el procesamiento de los minerales, tales como cianuro, mercurio o ácido sulfúrico, entre otros. Dependiendo de la geología y mineralogía local, las menas explotadas, y por lo tanto también los residuos mineros, pueden mostrar concentraciones elevadas de aluminio, arsénico, asbesto, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, mercurio, zinc, por nombrar algunos. La manifestación, el potencial de liberación de dichos elementos y el riesgo asociado, dependen de las condiciones específicas del sitio, incluyendo el diseño y la forma de extracción, del procesamiento, del modo de gestión de los residuos, de la calidad de las medidas de mitigación y de aspectos ambientales como el clima.

Los principales mecanismos de transporte de los contaminantes a las aguas superficiales y subterráneas son la descarga directa de las aguas de proceso, los drenajes de mina, el escurrimiento superficial sobre residuos y terrenos contaminados y la infiltración.

La presencia de sulfuros en muchos residuos mineros y en las labores abiertas y la consecuente formación de drenajes ácidos de mina (DAM), con alto potencial de transportar sulfatos, hierro, metales pesados y arsénico, han sido ampliamente reconocidos como uno de los grandes problemas ambientales en muchas regiones mineras de todo el mundo. La formación de DAM se debe a la oxidación de sulfuros, principalmente pirita, en presencia de agua y oxígeno, con la intervención muchas veces de bacterias quimiolitótrofas. En estos casos, se puede sospechar la contaminación de agua si es posible detectar visualmente precipitados de óxidos, hidróxidos o hidroxí-sulfatos de hierro, aunque no siempre es así. El potencial para la generación de aguas ácidas en un residuo minero, en un frente de explotación o en pozos y galerías de minería de interior depende de muchos factores específicos como las características físicas de los materiales expuestos a la intemperización, la presencia de materiales básicos o ácidos, y los factores climáticos e hidrológicos.

En el caso de la minería de oro existe además un alto riesgo de contaminación de las aguas debido al uso del cianuro o el mercurio como reactivos. En general el cianuro presenta un alto riesgo debido a su aguda toxicidad, pero se puede degradar bajo condiciones naturales en pocos días.

Otra fuente de contaminación de las aguas superficiales se debe a la erosión y la descarga de sedimentos y materiales disueltos provenientes de los tajos abiertos, las pilas de lixiviación, los tranques de relaves, los desmontes, e incluso de lo que fueron áreas de exploración.

Los ecosistemas acuáticos pueden sufrir impactos por el ingreso de sedimentos y materiales a los cauces y cuerpos acuáticos, tanto por la liberación de contaminantes como por la modificación directa temporal o permanente del balance de agua y de la hidrología e hidrogeología local y/o regional. Las consecuencias de tales impactos pueden llegar a una degradación o pérdida de los ecosistemas, un impacto en la biodiversidad y en la flora o fauna acuática.

Las aguas subterráneas también pueden verse afectadas por los impactos emanantes de los pasivos. Existen diferentes vías de influencia de las cuales el más obvio ocurre en las minas con labores por debajo del nivel freático, donde se abre un conducto directo con las aguas subterráneas. Pero también la infiltración de aguas naturales, aguas de proceso o aguas residuales por materiales depositados en el agua subterránea representa una fuente común de contaminación de las mismas. Una contaminación también puede ocurrir cuando existe una conexión hidráulica entre las aguas superficiales y subterráneas.

Al igual que ocurre con las aguas, es posible que se den situaciones de suelos contaminados. La contaminación de los suelos tiene su origen en el arrastre de material contaminado por el viento y la contaminación por la inadecuada disposición de residuos y productos químicos. La erosión y degradación de los suelos se debe a la exposición de materiales removidos y procesados, la destrucción de la capa vegetal protectora existente y también por la disposición de residuos mineros en la superficie.

Por otra parte, suelos que son irrigados por aguas que han tenido contacto con escurrientías de residuos mineros, pueden alterar sus características de pH, contenido de nutrientes y materia orgánica. La situación puede ser

peor aún cuando en los suelos pueden asentarse materiales sulfurados, los cuales, por efecto del intemperismo, pueden generar cargas de metales pesados y acidez. Dependiendo de la disponibilidad de los elementos tóxicos incorporados, podrá darse una mayor o menor absorción por las plantas y generarse una magnificación de los efectos con su entrada en la cadena alimenticia, tanto de animales como de seres humanos.

Para terminar este punto, conviene insistir en la trascendencia que la existencia de minas abandonadas puede tener para la salud humana en cuanto que puede verse afectada por los procesos de contaminación que emanan de los pasivos ambientales mineros. El riesgo por contaminación se debe a la presencia de sustancias tóxicas en los diferentes medios ambientales como el agua superficial, el agua subterránea, el suelo y el aire y el uso de estos medios por el hombre. El uso de las aguas superficiales y subterráneas contaminadas por los PAM como agua potable, agua de riego o también con objetivos recreativos implica un riesgo por la posible ingestión y/o el contacto dérmico. Además, como se ha mencionado, existe el riesgo por el ingreso de los contaminantes a la cadena alimenticia. También en áreas mineras abandonadas o paralizadas es inevitable que se generen polvos fugitivos en condiciones de abandono, debido a que quedan en el sitio residuos finos y no aglomerados, como por ejemplo los relaves secos resultantes de procesos de concentración. La respiración e inhalación de aire contaminado o de polvo y el contacto dérmico con residuos mineros o suelos contaminados implica también un riesgo por la salud humana.

4.4. Situaciones que afectan a la seguridad física asociadas a minas abandonadas y pasivos ambientales mineros

Por el hecho de producirse en un área minera, los procesos geodinámicos que ocurren de forma natural pueden tener consecuencias distintas a las que tendrían en un terreno natural inalterado, viéndose en ocasiones inducidos o facilitados. Las excavaciones mineras y los depósitos de residuos producen superficies topográficas nuevas, diferentes a la original. Si se puede suponer que la topografía original era estable o estaba en equilibrio con el medio natural, es muy posible que las nuevas formas generadas por la actividad minera no lo sean, unas en mayor medida que otras según el lugar. Las nuevas formas artificiales generan cambios en el flujo interno y externo del agua, modificando el funcionamiento natural de los procesos de desplazamiento de materiales por erosión, arrastre y sedimentación, o por movimientos en masa.

En la historia de la industria minera, los colapsos de depósitos de relaves han causado los accidentes de mayor envergadura. Han ocurrido accidentes en los que se perdieron cientos de vidas en un instante. En general, la mayoría de los depósitos de relaves antiguos que se ubican en zonas secas, se encuentran en un estado físico relativamente estable, excepto por la generación de polvo. No obstante, los depósitos de relaves de zonas húmedas y especialmente aquellos instalados cerrando valles, mantienen una gran cantidad de agua dentro del depósito, incluso mucho tiempo después de haber terminado su operación, y existe la posibilidad de que se produzca el fenómeno de licuefacción en caso de un terremoto, o bien, existe el peligro de derramar relaves desde la cubeta en momentos de crecidas de aguas por lluvias.

Las influencias por el colapso de botaderos o escombreras de estériles o de desechos de lixiviación generalmente se limitan a lugares cercanos, pero el poder destructivo en el momento del colapso puede ser importante, por lo tanto cuando existen en las proximidades zonas habitadas o infraestructuras de transporte el riesgo aumenta. También, cuando las escombreras o botaderos se sitúan adyacentes a ríos hay peligro de socavación del pie del depósito en momentos de crecida, por lo cual la probabilidad de ocasionar daños es alta. En ocasiones son los propios botaderos o escombreras los que generan inestabilidades sobre las laderas en las que se asientan, lo que puede apreciarse por grietas en el terreno, reptación de suelos, inclinación de la vegetación, etc.

También, la inestabilidad de taludes en las cortas, frentes o cualquier tipo de hueco de explotación puede dar lugar con el paso del tiempo a la rotura o el desmoronamiento de los taludes, lo que puede llegar a afectar a terrenos propiedad de terceros o a zonas habitadas situados detrás. La existencia de signos de inestabilidad en taludes se aprecia por grietas de coronación, caída de bloques o piedras sueltas, chasquidos, vuelco, etc.

Los procesos de inundación naturales pueden verse modificados como consecuencia de las modificaciones topográficas generadas por huecos excavados en la cercanía de cauces o por la situación de depósitos de residuos en lugares donde se obstaculiza el flujo del agua en momentos de crecida. La gravedad de los cambios en las áreas inundables será normalmente mayor cuanto mayor sea la proximidad a un cauce y la modificación de la topografía original.

En la gran mayoría de los casos, los procesos de erosión hídrica no suponen una pérdida de suelo en las superficies alteradas por la minería, puesto que los suelos que originalmente cubrían la superficie del terreno se eliminaron por la apertura de frentes o huecos de explotación, se decaparon para proporcionar explanadas donde asentar talleres, parques o cualquier clase de instalaciones o fueron sepultados por depósitos de residuos. Sin embargo, a veces se producen procesos de erosión inducida, como por ejemplo: la pérdida de suelos que se produce por cárcavas o arroyaderos (*bossorocas*) que nacen en cabeceras de taludes de frentes, o límites de huecos de explotación afectando a parcelas o estructuras limítrofes.

Los problemas de seguridad para las personas en las áreas mineras abandonadas son muy diversos. Algunos de ellos están relacionados con la presencia de piques o pozos, socavones u otras labores mineras que pudieran haber quedado accesibles. Entre ellas pueden incluirse también las típicas depresiones cónicas que se forman en la embocadura de pozos y chimeneas que están conectadas a labores subterráneas debido a procesos de subsidencia. Las minas subterráneas pueden ser objeto de interés para las personas, especialmente si están cerca de zonas habitadas. Las galerías son oscuras, por lo que hay muchas posibilidades de ocurrencia de accidentes, como contusión, tropiezos, caídas, o desastres como hundimientos, falta de oxígeno, extravío, etc.

También se han de incluir como elementos de riesgo para las personas todos los posibles desniveles verticales, extraplomados o de gran pendiente originados por la excavación. Otros posibles elementos de riesgo son los taludes inestables que pueden romperse instantáneamente, así como los puntos donde se producen desprendimientos y caída de rocas.

Algunas minas a cielo abierto abandonadas han acumulado agua, pudiendo producirse caídas accidentales o incluso convertirse en lugares atractivos para la recreación. No obstante, tales masas de agua pueden tener concavidades o convexidades de rocas peligrosas debajo de la superficie del agua, orillas de excesiva pendiente o resbaladizas, o el agua puede estar muy fría, existiendo la posibilidad de que ocurran accidentes.

En las áreas mineras muchas veces se encuentran instalaciones abandonadas, como plantas de concentración, materiales diversos de construcción y equipos móviles y fijos. Tales instalaciones, equipos y materiales dejados por mucho tiempo, pueden estar deteriorados por el desgaste u oxidación, por lo cual, y siempre que la gente tenga acceso fácil, y pueden ser lugares proclives a la ocurrencia de accidentes (golpes, heridas corto-punzantes, etc.).

5. METODOLOGÍA GENERAL PARA LA GESTIÓN O MANEJO DEL RIESGO

5.1 Formulación general de la gestión o manejo de los riesgos

La gestión de riesgos puede definirse como la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas con el objetivo de analizar, evaluar, controlar y comunicar los riesgos (CSA, 1997).

Los llamados procesos de gestión de riesgos ayudan a la toma de decisiones a través de la consideración de las incertidumbres y sus efectos sobre el grado de alcance de objetivos, al tiempo que asesoran sobre la necesidad de llevar a cabo determinadas acciones. La gestión de riesgos puede aplicarse tanto al nivel más alto de cualquier tipo de organización como al de cualquier actividad o función simple desarrollada en su seno. Se puede aplicar a proyectos específicos, para asistir con decisiones específicas, o para administrar áreas específicas reconocidas de riesgo. La administración de riesgos es un proceso iterativo que puede contribuir a la mejora general de la administración y gestión. Ha sido aplicada a un amplio rango de actividades, incluyendo:

- Administración de activos financieros, inversiones, operaciones de cambio monetario;
- cambios: organizacionales, tecnológicos y políticos;
- planificación de contingencias para desastres y emergencias asociados a fenómenos naturales o conflictos;
- responsabilidades de directivos y altos cargos;
- operaciones o proyectos que conlleven una potencial degradación del medio ambiente;
- actividades potencialmente contaminantes;
- prevención, detección y administración de procesos de propagación de enfermedades infecciosas;
- seguridad en el transporte;
- etc.

Algunas áreas de la gestión de riesgos, como por ejemplo, las áreas de seguridad, salud y medio ambiente imponen criterios que reflejan una especial precaución ante las consecuencias negativas de determinados procesos, actividades, proyectos, etc. Incluso, es corriente que tales criterios puedan estar contenidos ya en normas legales.

La gestión de riesgos conlleva la aplicación de métodos lógicos y sistemáticos con el objetivo de desarrollar los siguientes capítulos, cuya interrelación se representa en la Figura 4 (Standards Australia, 2004a, b):

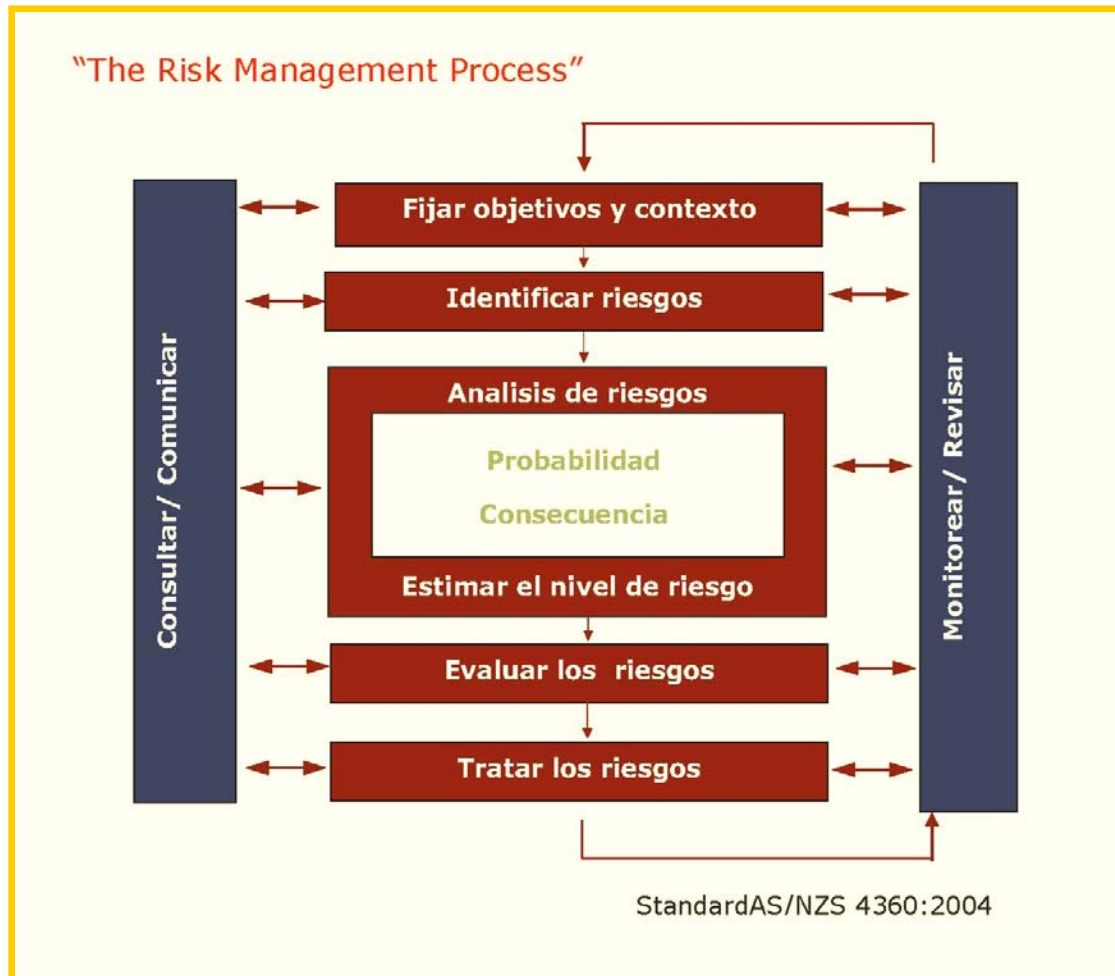
- Establecer los objetivos y el contexto estratégico, organizativo y administrativo en el cual tendrá lugar el resto del proceso gestión de riesgos.
- Identificar riesgos. Identificar qué, por qué y de qué forma pueden suceder los posibles acontecimientos, como base para análisis posterior.
- Analizar riesgos. Determinar los controles existentes y analizar riesgos en términos de consecuencias y probabilidades, en el contexto de esos controles. El análisis debería considerar el rango que puede alcanzar la severidad o gravedad de las consecuencias potenciales y cuán probable es que ocurran esas consecuencias. Consecuencias y probabilidades pueden ser combinadas para producir un nivel estimado de riesgo. Es la parte más técnica del proceso.
- Evaluar riesgos. Comparar niveles estimados de riesgos comparando con niveles preestablecidos. Esto posibilita que los riesgos sean ordenados, permitiendo identificar las prioridades de actuación. Si los niveles de riesgo establecidos son bajos, los riesgos podrían considerarse aceptables, con lo que no sería necesaria una actuación o respuesta.
- Tratar riesgos. Aceptar y monitorear los riesgos de baja prioridad. Para otros riesgos, desarrollar e implementar un plan de gestión específico.
- Monitorear y revisar. Monitorear y revisar el funcionamiento del sistema de gestión de riesgos y los cambios que podrían afectarlo.
- Comunicar y consultar a los posibles interesados o afectados internos y externos a lo largo de todo el proceso.

Es un proceso iterativo cuyos pasos, cuando son ejecutados en secuencia, posibilitan una mejora continua en el proceso de toma de decisiones.

Existen variantes en cuanto a la terminología utilizada por diversos organismos e instituciones anglosajonas, pero puede decirse que las más influyentes (*Standars Australia/New Zealand, Canadian Standards Association*) utilizan claramente los mismos conceptos básicos:

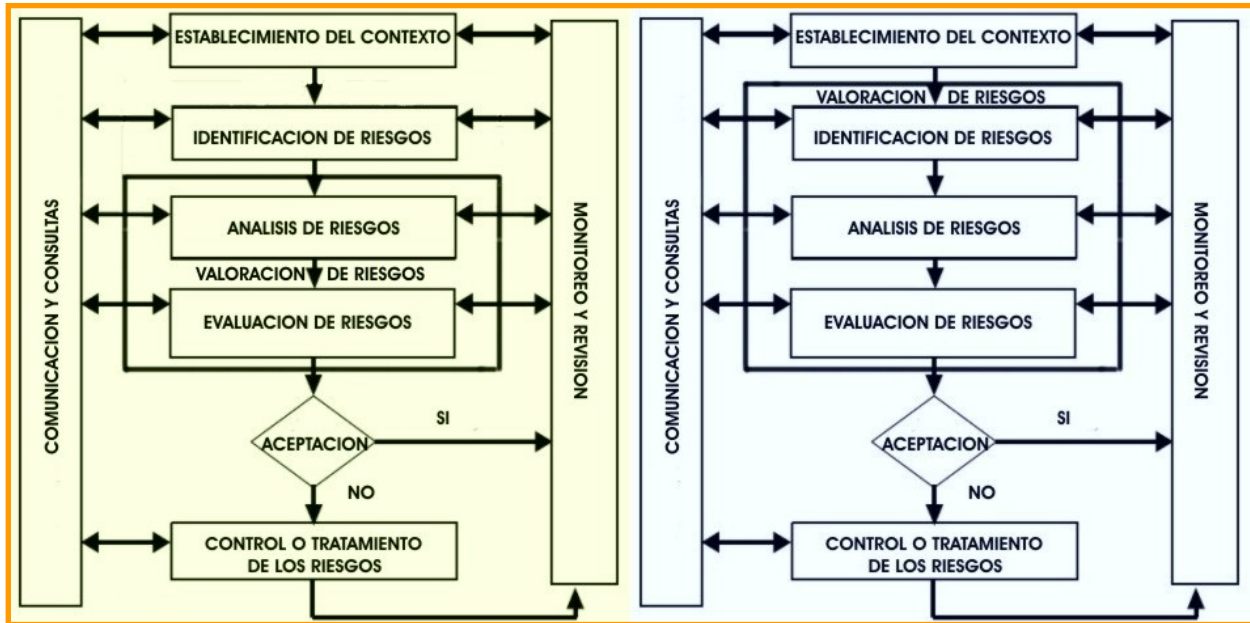
- *Risk management* (gestión, administración o manejo del riesgo)
- *Risk analysis* (análisis del riesgo)
- *Risk evaluation* (evaluación del riesgo)
- *Risk assessment* (valoración del riesgo)
- *Risk treatment/risk control* (tratamiento/control del riesgo).

Figura 4. Elementos que componen la gestión de riesgos (Standards Australia 2004a, b)



Sin embargo, ambos estándares difieren en que el canadiense considera *Risk assessment=risk analysis+risk evaluation* mientras que el australiano/neozelandés considera *Risk assessment=risk identification+risk analysis+risk evaluation* (Figura 5). En Saner (2005), se puede encontrar una excelente revisión de estos aspectos. Conviene resaltar que el esquema australiano/neozelandés fue adoptado por la *International Organization for Standardization* (norma ISO/DIS 31000). Se da la circunstancia, además, de que en la literatura sobre esta temática en español, suele utilizarse de forma indistinta análisis de riesgos y evaluación de riesgos. En cualquier caso, todo esto es de poca importancia para los objetivos de este manual, aunque no está de más darlo a conocer. Si fuera necesario fijar conceptos, se recomienda seguir la citada norma ISO/DIS 31000.

Figura 5. Comparación del esquema general de un proceso de gestión de riesgos entre los estándares canadiense (izquierda) y australiano/neozelandés (derecha) (CSA, 1997; Standards Australia/NewZealand, 2004a, b)



El establecimiento del contexto, considerado como primer paso del desarrollo metodológico no merece ser discutido, pues de la lectura del punto 4 de este manual se deduce fácilmente a qué tipo de situaciones se habrá de hacer frente. El núcleo central del diagrama de la Figura 5 (derecha), que agrupa la identificación, análisis y evaluación de riesgos, lo que puede denominarse valoración de riesgos es lo que más interesa desde el punto de vista de los objetivos marcados. Hay una variedad de técnicas disponibles para afrontar la valoración de los riesgos ambientales (*Environmental Risk Assessment-ERA*). Según Pelletier & Dushnisky (1993), existen tres metodologías de valoración que se adaptan especialmente bien a las operaciones mineras: el Análisis de Modos y Efectos de Fallos (traducción más o menos literal de *Failure Modes and Effects Analysis-FMEA*), el Análisis del Árbol de Eventos (o sucesos) y el Análisis del Árbol de Errores. El tipo o la combinación de técnicas de ERA que mejor se adapte a una aplicación en particular es, en gran medida, función del tipo de datos de los proyectos o realidades que se estén valorando. El primero de ellos, proporciona un enfoque estructurado para la identificación de sucesos, eventos o situaciones no deseadas, la consideración de la probabilidad de ocurrencia y la estimación sus efectos o consecuencias, que se ajusta bastante bien a la casuística presente en áreas mineras abandonadas, permitiendo confeccionar listas de pasivos ambientales mineros ordenadas por orden de prioridad en función de los riesgos ambientales que representan.

Concretando, el conjunto de tareas a desarrollar, constituidas como un proceso formalmente estructurado, persigue: identificar los riesgos (por qué y de qué forma pueden suceder los posibles acontecimientos); analizar los riesgos en términos de severidad o gravedad de las consecuencias y probabilidad de que se produzcan; combinar la severidad y la probabilidad para producir un nivel estimado de riesgo, y, por último, comparar niveles estimados de riesgos con niveles preestablecidos o entre ellos, de manera que los riesgos sean ordenados, permitiendo identificar las prioridades de actuación. Este procedimiento no proporciona soluciones detalladas de todas las circunstancias, casos o escenarios investigados, ni hace desaparecer los riesgos, pero permite establecer prioridades de actuación y, especialmente, reconocer aquellos que pudieran considerarse puntos críticos.

5.2 Identificación de riesgos

Esta etapa persigue identificar los riesgos que pueden presentarse en forma de escenarios de riesgo. Esto conlleva reconocer todas las posibles fuentes, causas o situaciones de riesgo, al tiempo que se identifican los posibles afectados o receptores potenciales y la amplitud o extensión de los posibles efectos no deseados o impactos. Es fundamental realizar una identificación amplia utilizando un proceso sistemático bien estructurado, porque los riesgos potenciales que no se identifican en esta etapa son excluidos del análisis posterior. La intención es generar una lista amplia de eventos, sucesos o procesos que podrían afectar a cada uno de los elementos considerados vulnerables. Los enfoques utilizados para identificar riesgos incluyen listas de chequeo, rondas de discusión entre expertos, juicios basados en la experiencia y en los registros, diagramas de flujo, etc.

5.3 Análisis/Evaluación de riesgos

El riesgo es función de la **probabilidad** de ocurrencia del efecto, suceso o proceso indeseable considerado y de la **severidad** de las consecuencias esperables ante la ocurrencia de tal efecto. La predicción de riesgos está necesariamente cargada de ciertas incertidumbres, tanto para la asignación de la probabilidad como de la severidad de las consecuencias o del impacto. Es necesario hacer notar que, debido a la amplísima casuística a la que es posible aplicar las metodologías de evaluación de riesgos, suele hablarse de consecuencias (o severidad de las consecuencias), si bien, cuando se trata de riesgos ambientales, es perfectamente razonable decir impacto.

El análisis de riesgos puede ser llevado con distintos grados de refinamiento dependiendo de la información y los datos disponibles. Dependiendo de las circunstancias, el análisis puede ser cualitativo, semi-cuantitativo o cuantitativo o una combinación de estos. La complejidad y el coste de estos análisis siguen un orden ascendente que va de lo cualitativo a lo cuantitativo. En la práctica, a menudo se utiliza primero el análisis cualitativo para obtener una indicación general del nivel de riesgo, pudiendo realizarse posteriormente un análisis cuantitativo más detallado si existe información que permita hacerlo.

El análisis cualitativo utiliza calificativos y escalas descriptivas para especificar la magnitud de las consecuencias potenciales y la probabilidad de que esas consecuencias ocurran. Estas escalas se pueden modificar o ajustar para adaptarlas a las circunstancias, y se pueden utilizar distintas descripciones para riesgos diferentes.

Por ejemplo, la probabilidad puede medirse a través de calificativos tales como: “Alta”, “Media”, “Baja” y “Despreciable”. Lógicamente, la calificación depende de las condiciones y circunstancias particulares que estén siendo evaluadas en cada momento.

En la Figura 6 se muestran un ejemplo de otra escala cualitativa aplicable a la valoración de la probabilidad de un suceso. Para que tal forma de valorar sea lo más invariable posible, es conveniente redactar guías que permitan aplicar dichas terminologías de forma menos subjetiva.

Para evaluar la severidad de las consecuencias pueden establecerse categorías tales como: “Catastrófica”, “Alta”, “Moderada”, “Baja” y “Despreciable”. En la Figura 7 se muestran un ejemplo de otra escala cualitativa aplicable a la valoración de la severidad de un suceso.

Figura 6.. Tabla descriptiva de probabilidad de ocurrencia de un suceso con carácter cualitativo

Nivel	Descriptor	Descripción
A	Casi certeza	Se espera que ocurra en la mayoría de las circunstancias
B	Probable	Probablemente ocurrirá en la mayoría de las circunstancias
C	Posible	Podría ocurrir en algún momento
D	Improbable	Pudo ocurrir en algún momento
E	Raro	Puede ocurrir sólo en circunstancias excepcionales

Figura 7. Tabla de calificación de la severidad de las consecuencias de un suceso (Pelletier & Dushnisky, 1993).

Category	Description	Effect on Environment
I	Safe	Negligible effect on environment.
II	Marginal	Failure will degrade environment to some extent, but will not cause major or long term damage.
III	Critical	Failure will degrade environment and, if action is not taken, major or long term damage will occur.
IV	Severe	Failure will produce severe environmental degradation.

La valoración final de los riesgos se realiza mediante matrices de doble entrada, considerando ambos aspectos (probabilidad y severidad). En la Figura 8 se muestra una matriz general de valoración cualitativa del riesgo.

Figura 8. Matriz o tabla general de valoración cualitativa del riesgo

		AUMENTA LA PROBABILIDAD					RANKING DE RIESGO POTENCIAL
		1	2	3	4	5	
AUMENTA LA SEVERIDAD	5						SEVERO
	4						ALTO
	3						MEDIO
	2						BAJO
	1						BAJO

UN EJEMPLO DE TABLA DE VALORACIÓN CUALITATIVA DEL RIESGO

En el análisis semi-cuantitativo, a las escalas cualitativas, tales como las descritas arriba, se les asignan valores numéricos. El número asignado a cada descripción no tiene que guardar una relación precisa con la magnitud real de las consecuencias o probabilidades. El objetivo es producir un ordenamiento de prioridades más ordenado que el que se logra normalmente en el análisis cualitativo, sólo eso. No permite obtener valores realistas para los riesgos, tales como los que se procuran en el análisis cuantitativo.

El análisis cuantitativo utiliza valores numéricos para las consecuencias y probabilidades (en lugar de las escalas descriptivas utilizadas en los análisis cualitativos y semicuantitativos) utilizando datos de distintas fuentes. Las consecuencias pueden ser estimadas modelando los resultados de un evento o conjunto de eventos, o extrapolando a partir de estudios experimentales o datos del pasado. Las consecuencias pueden ser expresadas en términos de criterios monetarios, técnicos o humanos. En algunos casos se requiere más de un valor numérico para especificar las consecuencias para distintos momentos, lugares, grupos o situaciones. La probabilidad es expresada generalmente como una probabilidad, una frecuencia, o una combinación de exposición y probabilidad. La forma en que se expresan las probabilidades y las consecuencias y las formas en que las mismas son combinadas para proveer un nivel de riesgo variarán de acuerdo con el tipo de riesgo y el contexto en el cual se va a utilizar el nivel de riesgo. En la Figuras 9 y 10 se muestran valoraciones cuantitativas de la probabilidad y la severidad.

Figura 9. Tabla de valoración cuantitativa de la probabilidad de un suceso (Pelletier & Dushnisky, 1993).

Likelihood Categories Used for Failure Modes and Effects Analysis		
Category	Expected Likelihood	Annual Chance of Occurrence
Negligible	Less than $10^{-6}/\text{yr.}$	1:1,000,000
Very Low	$10^{-6}/\text{yr.}$ to $10^{-4}/\text{yr.}$	1:1, 000, 000 to 1:10,000
Low	$10^{-4}/\text{yr.}$ to $10^{-2}/\text{yr.}$	1:10,000 to 1:100
Moderate	$10^{-2}/\text{yr.}$ to $10^{-1}/\text{yr.}$	1:100 to 1:10
Significant	Greater than $10^{-1}/\text{yr.}$	Greater than 1:10

Figura 10. Ejemplo de valoración de la severidad para evaluar el riesgo de implantar diversos tipos de actividades en una zona reconocida como acuífero de interés para el abastecimiento de la ciudad de Nome (Alaska) (Bristol, 2006).

Severity Level	Remediation Cost	Cost New Facilities or Additional Treatment	Loss of Use
High	> \$10 million remediation cost	> \$10 million initial cost or > \$1 million annual costs	Complete loss of resource (> 1 year)
Med-High	\$5 - \$10 million remediation cost	\$4 million initial cost or \$0.5 million annual costs	Temporary loss of resource (< 1 year)
Med	\$0.5 - \$5 million remediation cost	\$2 million initial costs or \$250,000 annual costs	Temporary loss of resource (< 1 month)
Med-Low	< \$0.5 million remediation cost	\$1 million initial costs or \$1,000 annual costs	Temporary loss of 2 million gallons storage (inability to use resource for 1 week)
Low	Minimal remediation costs	No additional treatment required	No loss of resource

6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS/EVALUACIÓN DE RIESGOS EN MINAS ABANDONADAS/PARALIZADAS O PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

6.1 Identificación de riesgos

Se comprende fácilmente que para que la metodología de evaluación de riesgos pueda ser de utilidad en relación con las minas abandonadas o pasivos ambientales mineros, ha de ser capaz de contemplar la enorme variedad de situaciones o escenarios de riesgo posibles en todos los casos que se pudieran presentar. Por ejemplo, debería ser de aplicación tanto a algo tan simple como un hueco de gravera abandonada inundado,

como a un complejo minero-metalúrgico de gran tamaño. Tal vez la única forma de conseguir esto es confeccionar un exhaustivo listado de posibles escenarios de riesgo que incluya todos los posibles fallos, sucesos o procesos, ya sean accidentales, instantáneos o continuos, temporales o permanentes, ligados a todos los elementos o componentes de emplazamiento o área minera. Cada escenario debe quedar precisa y concisamente descrito mediante una frase descriptora o descriptor, siendo esta descripción parte importante del sistema de evaluación, desde el momento en que representa un escenario de riesgo tipificado y fijo. En realidad, cada uno de los escenarios de riesgo que puedan ser descritos representa una clase de escenarios individuales hipotéticos, cuya severidad y probabilidad de ocurrencia variarán en función del caso concreto que se esté examinando. También es útil asignar a dichos escenarios tipificados un código alfanumérico. Como ejemplos se pueden citar algunos de los utilizados por el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile para la evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas (SERNAGEOMIN-BGR, 2008):

- “EPC 3: presencia de aguas contaminadas en las labores que podrían ser empleadas para bebida u otros usos (riego, baño bebida de animales”, en fondos de huecos mineros, presas de relaves o instalaciones.
- “EPS 13: Caída de rocas, estructuras remanentes o elementos inseguros sobre personas”, en accesos abiertos a labores subterráneas o en instalaciones abandonadas.

Una vez que existe una batería de escenarios codificados y descritos, en cada mina o estructura minera se utilizarán los que se consideren pertinentes, y se realizarán valoraciones sobre la severidad y probabilidad de ocurrencia para todos y cada uno de los escenarios utilizados.

Para sistematizar el proceso de búsqueda de los escenarios tipificados que pueden tener utilidad en cada uno de los diferentes casos, puede ser interesante agruparlos en clases. Separar los escenarios de riesgo por clases evita que se diluya la evaluación de determinados riesgos, permitiendo además concretar mejor las posteriores actuaciones de remediación. Por ejemplo, una forma de agrupamiento que serviría para clasificar los escenarios típicos que se suelen presentar en emplazamientos mineros abandonados sería:

- Efectos, consecuencias o impactos sobre las personas o la población.
- Efectos, consecuencias o impactos para el medio ambiente.
- Efectos, consecuencias o impactos sobre las actividades económicas.

Si se analizan los escenarios correspondientes a cada uno de estos agrupamientos —o cualesquiera otros que se consideren convenientes— sobre la misma matriz de valoración del nivel de riesgo, el resultado final es una especie de cartas de presentación del pasivo minero o emplazamiento evaluado, como puede inferirse de la Figura 12.

Figura 12. Matriz de riesgo que muestra la evaluación de un agrupamiento de escenarios de riesgo de minas abandonadas, codificados alfanuméricamente, relativos a "Salud y seguridad" (Robertson & Shaw, 2009).

		LIKELIHOOD				
		NOT LIKELY	LOW	MODERATE	HIGH	EXPECTED
CONSEQUENCE	EXTREME	B14.1, B15.2, B16.2	A42.2, A57, A81.6, B14.1, B14.2, B15.2, B16.2, B91.2, B91.3	A81.2, B92.3, B93.2, B93.3	A56, B15.1, B16.1, B91.1	
	HIGH		A101.3	A12.3, A63.3, B11.2, B11.3, B13.1, B13.2,	B11.1	B81.1
	MODERATE	B17	B17, B92.1, B92.2, B93.1	A63.3, B12.1, B18	A63.4, B12.2, B55.2	B81.3, B81.4, B94.1, B94.2
	LOW		A13, A22.2, A61.5, A92.2, A92.5, B85	A101.4	A53.2, A55.2, A61.4, A61.6, A71.1, A71.2, A81.4, A81.5, A92.3	A14.1, A54, A63.1, A63.2, A81.3, A92.1, A92.4, A92.6, B51, B52, B53, B71.1, B71.2, B81.2
	NEGLECTIBLE		A41.2, A41.4, A41.7, A42.2, A61.1, A63.5, A101.2, A101.6, B21.1, B22.1, B23.1, B31.2, B31.3, B31.4, B31.5, B31.6, B33.4, B33.5, B33.6, B34.1, B37.1, B41.1, B41.2, B41.3, B41.4	A21.1, A21.2, A22.1, A41.5, A41.6, A52, A61.2, A62, A81.1, B31.1, B32.2, B33.1, B36.1	A12.2, A41.1, A41.3, A53.1, A55.1, B31.3, B33.2, B33.3	A11, A12.1, A14.2, A41.8, A42.1, A61.3, A91, A101.5, A101.7, B21.2, B22.2, B23.2, B32.1, B34.2, B35.1, B35.2, B36.2, B37.2

Referencias

ASGMI. 2010. Pasivos Ambientales Mineros. Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas. Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos. 42 p.
http://www.igme.es/internet/ASGMI/asambleas/XVIAsamblea/manual_inventario_PAM_aprobado.pdf

BALKAU, F. 1999. Abandoned Mine Sites. Problems, Issues and Options. *In: Protection of the Environment and Natural Resources*. Natural Resources Management Unit Division. Report of the Berlin II International Roundtable of Mining and the Environment. S-40-43. Köln (Carl Duisberg Gesellschaft).

BRISTOL. 2006. *Risk ranking and reduction process. Moonlight Wells Protection Area*. BEESC Project No. 26094. Bristol Environmental & Engineering Services Corporation for City of Nome (Alaska).

CSA (Canadian Standards Association). 1997. Risk Management: Guideline for Decision makers (CAN/CSA-Q850-97). Canadian Standard Asssociation, Etobucoke.

Jarvis, A., A. Fox, E. Gozzard, S. Hill, W. Mayes and H. Potter. 2007. Prospects for Effective National Management of Abandoned Metal Mine Water Pollution in the UK. In: R. Cidu & F. Frau (Eds). Proceedings of IMWA Symposium 2007: Water in Mining Environments, 27th - 31st May 2007, Cagliari, Italy.

Johnston, D., K. Parker and J. Pritchard. 2007. Management of Abandoned Minewater Pollution in the United Kingdom. In: R. Cidu & F. Frau (Eds). Proceedings of IMWA Symposium 2007: Water in Mining Environments, 27th - 31st May 2007, Cagliari, Italy.

Nahir, M., M. van Aanhout and S. Reinecke. 2006. Application of Risk Management to Abandoned Mine Sites in the Canadian North. In: 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), March 26-30, 2006, St. Louis MO. R.I. Barnhisel (ed.) Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR), 3134 Montavesta Road, Lexington, KY 40502

Pelletier, C. A. and K. Dushnisky 1993. Qualitative Environmental Risk Assessment Applied to the Proposed Windy Craggy Project. *Proceedings of the 17th Annual British Columbia Mine Reclamation Symposium* in Port Hardy, BC, 1993. The Technical and Research Committee on Reclamation.

Robertson, A. and S. Shaw. 2009. *Mine Closure*. INFOMINE e-Book.
<http://www.infomine.com/publications/docs/E-Book%202002%20Mine%20Closure.pdf>.
Consulta: 24-11.09.

Saner, M. 2005. Information Brief on International Risk Management Standards. Institute on Governance, Ottawa, Ontario, Canada 33 p.

SERNAGEOMIN-BGR. 2008. Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas (FMAP). Golder Associates para SERNAGEOMIN-BGR.

Standards Australia. 2004a. *AS/NZS 4360:2004 Risk Management*. Sydney, Standards Australia and Standards New Zealand.

Standards Australia. 2004b. *Risk Management Guidelines*. Companion to AS/NZS 4360:2004, HB 436:2004. Sydney, Standards Australia and Standards New Zealand.

BORRADOR PARTE CENTRAL