

PROGRAMA DE DESARROLLO
SOSTENIBLE LEADING PRACTICE
PARA LA INDUSTRIA MINERA



Translated by eTranslate (Traducción: eTranslate)
Translator (Traductor) - Rafael de la Figuera Von Wichmann
Reviewer (Revisor) - Andres Munoz & Elizabeth Gravina

OCTUBRE DE 2006

REHABILITACIÓN DE MINAS

Descargo de responsabilidad

Programa de Desarrollo Sostenible Leading Practice para la industria minera

Esta publicación ha sido realizada por un Grupo de expertos, representantes de la industria, el gobierno y organizaciones no gubernamentales. Reconocemos y agradecemos el esfuerzo realizado por el Grupo de Trabajo.

Los puntos de vista y opiniones expresados en esta publicación no reflejan necesariamente los del Gobierno de la Commonwealth o del Ministro de Industria, Turismo y Recursos. Aunque se han tomado todas las medidas posibles para garantizar que el contenido de esta publicación sea objetivamente correcto, la Commonwealth no se hace responsable de la precisión o completitud de dicho contenido así como de ninguna pérdida o daño que pudiera ser ocasionado directa o indirectamente por el uso o por confiar en el contenido de esta publicación.

Los usuarios de este manual deben tener en cuenta que ha sido concebido como una referencia general y no pretende reemplazar el asesoramiento profesional que los usuarios pudieran necesitar en circunstancias particulares. La referencia a empresas o productos en este manual no debe considerarse como una aprobación del Gobierno de la Commonwealth de dichas empresas o productos.

Fotografía de portada: Rehabilitación de New Wallsend Colliery (mina de carbón) de Xstrata en Newcastle Coalfields en Nueve Gales del Sur

© Commonwealth of Australia 2006

ISBN 0 642 72487 3

Este manual está protegido por derechos de reproducción. Aparte del uso permitido por la Ley de Derechos de Reproducción de 1968, queda prohibida la reproducción de cualquier parte de este manual de ninguna forma sin el previo consentimiento por escrito de la Commonwealth. Las cuestiones y solicitudes de información sobre la reproducción y los derechos se deben enviar a Commonwealth Copyright Administration, Attorney General's Department, Robert Garran Offices, National Circuit, Canberra ACT 2600 o enviarse a <http://www.ag.gov.au/cca>

CONTENIDOS

	AGRADECIMIENTOS	iv
	PREÁMBULO	vii
1.0	INTRODUCCIÓN	1
2.0	DESARROLLO SOSTENIBLE Y REHABILITACIÓN DE MINAS	3
2.1	Desarrollo sostenible: aspectos ambientales	4
2.2	Desarrollo sostenible: aspectos sociales	5
	Estudio de caso: Implicación de las comunidades en la planificación vital de las minas	6
2.3	Desarrollo sostenible: caso empresarial	9
3.0	PLANIFICACIÓN	10
3.1	Consulta durante la planificación inicial de la mina	10
3.2	Requerimientos legales	10
3.3	Caracterización de los materiales	10
3.4	Evaluación del lugar	17
3.5	Planeamiento del programa de rehabilitación	19
	Estudio de caso: Extracción de níquel en Murrin Murrin, Western Australia	22
	Estudio de caso: Mina de carbón de Mt Owen, Hunter Valley, New South Wales (NSW)	25
4.0	OPERACIONES	28
4.1	Consultas durante las operaciones en la mina	28
4.2	Caracterización de los materiales	28
4.3	Manipulación de los materiales	28
4.4	Equilibrios en los desechos de agua de la mina	31
4.5	Reconstrucción del relieve	33
4.6	Cubiertas	33
	Estudio de caso: Sistema de cubierta de acumulación/descarga, mina de oro de Kidston, Queensland	36
4.7	Laderas exteriores al almacenamiento de residuos	37
4.8	Gestión de la capa superficial	38
	Estudio de caso: Alcoa World Alumina Australia	40
4.9	Asentamiento de las comunidades vegetales	42
	Estudio de caso: Mina de manganeso de GEMCO, Groote Eylandt, Northern Territory	47
5.0	CIERRE	53
5.1	Consultas durante el cierre de la mina	53
5.2	Formulación de los criterios del éxito de una rehabilitación	53
5.3	Desarrollo del programa de monitoreo de una rehabilitación	53
5.4	Desarrollo de un manual de monitoreo	58
5.5	Aprobación del arrendamiento	59
6.0	CONCLUSIÓN	60
	REFERENCIAS	62
	BIBLIOGRAFÍA	64
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	65

AGRADECIMIENTOS

El Programa de Desarrollo Sostenible Leading Practice está gestionado por un Comité de Dirección presidido por el Departamento de Industria, Turismo y Recursos del Gobierno Australiano. Los 14 temas del programa han sido desarrollados por grupos de trabajo compuestos de representantes del gobierno, la industria, la investigación, la universidad y la comunidad. Los manuales de Leading Practice no podrían haber sido realizados sin la cooperación y participación activa de todos los miembros del grupo de trabajo.

Damos las gracias a las siguientes personas que han participado en el Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación de Minas así como a sus patronos que pusieron a disposición del programa los conocimientos y el tiempo de los participantes:



Assoc Prof David Mulligan

Presidente-Grupo de Trabajo
Director - Centre for Mined Land Rehabilitation
Sustainable Minerals Institute
The University of Queensland

www.cmlr.uq.edu.au



Sra Jenny Scougall & Sra. Katie Lawrence

Secretaría-Grupo de Trabajo
Sección de Minería Sostenible
Department of Industry, Tourism and Resources

www.industry.gov.au



Sr John Allan

Jefe de Grupo-Medioambiente
Newcrest Mining Limited

www.newcrest.com.au



Sra Rachelle Benbow

Jefa de Operaciones Ambientales
NSW Minerals Council

www.nswmin.com.au



Sr Cormac Farrell

Funcionario político-Medioambiente
Minerals Council of Australia

www.minerals.org.au



Sr Wojtek Grun

Ingeniero de minas
Mineral Resources Tasmania

www.mrt.tas.gov.au

Keith Lindbeck and Associates
Environmental Management Consultants



Sr Keith Lindbeck

Director

Keith Lindbeck & Associates

keith@keithlinbeck.com.au



Dr Rob Loch

Consultor del Director

Landloch Pty Ltd

www.landloch.com.au



Dr Owen Nichols

Jefe del Programa de Investigación

Australian Centre for Minerals Extension
and Research

www.acmer.com.au



Dr Mark Tibbett

Director

Centre for Land Rehabilitation

School of Earth and Geographical Sciences

The University of Western Australia

www.clr.uwa.edu.au



Assoc Prof David J Williams

Director - Centre for Geomechanics in Mining and Construction

School of Engineering

The University of Queensland

www.uq.edu.au/geomechanics





La minería australiana está firmemente alineada con el objetivo global de un desarrollo sostenible. Es crucial un compromiso con el desarrollo sostenible mediante un modelo de conducta para que toda compañía minera pueda conseguir y mantener su “licencia social para operar” en la comunidad.

Los manuales de la serie Desarrollo Sostenible Leading Practice en la Minería comprenden aspectos medioambientales, económicos y sociales a través de todas las fases de la producción minera desde la exploración, pasando por la construcción, la extracción y el cierre de la mina. El concepto de modelo de conducta se basa simplemente en hacer las cosas de la mejor forma en cada determinada situación. Puesto que surgen nuevos retos y se desarrollan nuevas soluciones, o se idean mejores soluciones para los asuntos existentes, es importante que este modelo de conducta sea flexible e innovador para el desarrollo de soluciones que encajen con los requerimientos de cada situación concreta. Aunque se basa en principios sólidos, el modelo de conducta necesita tanto de la aproximación y actitud como de un conjunto fijo de procedimientos o de una tecnología en particular. El modelo de conducta también engloba los conceptos “gestión adaptable”, como proceso en constante revisión, y “aprender haciendo” al aplicar lo mejor de los principios científicos.

De la definición de desarrollo sostenible en relación con el sector de la minería y los metales realizada por el Consejo Internacional sobre Minería y Metales (ICMM) se desprende que las inversiones deben ser técnicamente apropiadas, medioambientalmente sensatas, económicamente rentables y socialmente responsables. Valor Perdurable—el Marco por el Desarrollo Sostenible de la Industria Minera Australiana proporciona asesoría para la implementación a nivel operativo de los Principios ICMM con los elementos de la industria minera australiana.

Una serie de organizaciones están representadas en el comité directivo y en los grupos de trabajo, lo cual es indicativo del interés tan diverso por un modelo de conducta en la industria minera. Entre estas organizaciones se encuentra el Departamento de Industria, Turismo y Recursos, el Departamento de Medioambiente y Patrimonio, el Departamento Regional de Industria y Recursos de Western Australia, el Departamento Regional de Recursos Naturales y Minas de Queensland, el Departamento Regional de Industria Primaria de Victoria, el Consejo de Minerales de Australia, el Centro Australiano para Cuencas Mineras e Investigación, la universidad, representantes de compañías mineras, investigadores técnicos, organizaciones no gubernamentales y expertos en sociedad, medioambiente y minas. Estos grupos han trabajado juntos para reunir y aportar información sobre una variedad de temas para ilustrar y explicar el desarrollo sostenible mediante un modelo de conducta en la industria minera australiana.

Las publicaciones resultantes están ideadas para ayudar a todos los sectores de la industria minera a reducir el impacto negativo que la extracción de minerales produce en la comunidad y en el medioambiente, siguiendo los principios de desarrollo sostenible mediante un modelo de conducta. Se conciben como una inversión en la sostenibilidad de un importante sector de nuestra economía y en la protección de nuestro patrimonio natural.

El Excelentísimo Ian Macfarlane MP
Ministro de Industria, Turismo y Recursos



1.0 INTRODUCCIÓN

Este manual trata sobre la rehabilitación de minas, tema del Programa de Desarrollo Sostenible basado en el concepto de Leading Practice. El programa pretende identificar asuntos clave que afectan al desarrollo sostenible de la industria minera y proporcionar información y estudio de casos que ilustren una base más sostenible para la industria. La serie se compone de otros manuales temáticos, cuyo objetivo es complementar este manual. El intercambio de información entre todos los participantes de la industria minera es importante para promover el leading practice, por lo que este programa pretende mejorar dicho intercambio.

Los manuales de leading practice son relevantes para todos los niveles en la vida de una mina (exploración, viabilidad, construcción, operación y cierre) y para todas las facetas de una operación. Aunque los principios que guían el modelo de conducta son a menudo genéricos, también pueden emplearse para desarrollar una planificación específica de sostenibilidad.

El público al que va destinado este manual es la dirección a nivel operativo, nivel clave para implementar las medidas de leading practice en operaciones mineras. Además, todos aquellos interesados en el modelo de conducta para la industria minera (particularmente funcionarios de medioambiente, consultores de minas, gobiernos y reguladores, organizaciones no gubernamentales, comunidades mineras y estudiantes) encontrarán relevante este manual. Se ha escrito para animar a toda esta gente a jugar un papel decisivo en la mejora continua de la industria minera conforme al desarrollo sostenible de la actividad.

Este manual expone los principios y las prácticas ejemplares en la rehabilitación de minas, con énfasis sobre el diseño de la forma del terreno y la vegetación. Muestra a los lectores la manera de utilizar más eficientemente las tecnologías y prácticas actuales y emergentes. Los principios descritos deberían aplicarse para cualquier terreno afectado por una mina. Siguiendo la secuencia operacional de las actividades mineras como la consulta, planificación, operaciones y terminación, cada capítulo se centra en los procesos y las cuestiones relevantes para el tema en su período de vida. Se pone particular énfasis en la restauración de los ecosistemas naturales, especialmente en el restablecimiento de la flora autóctona.

Los temas que se tratan incluyen los objetivos de la rehabilitación, la manipulación del suelo, los trabajos en el terreno, la re-vegetación, los nutrientes del suelo, el retorno de la fauna, el mantenimiento, los criterios del éxito y la monitorización. Los técnicos responsables de la rehabilitación deberían poder adaptar esta información a sus propias situaciones particulares cuando se planteen una estrategia de rehabilitación.

La rehabilitación es el proceso utilizado para reparar los impactos de la minería sobre el medioambiente. Los objetivos a largo plazo de la rehabilitación pueden variar desde la simple conversión de una zona a una situación estable y segura, hasta la restauración de las condiciones originales tan fielmente como sea posible para apoyar la futura sostenibilidad del lugar.

La rehabilitación normalmente abarca lo siguiente:

- el desarrollo de diseños para dar la forma apropiada al lugar de la mina
- la creación de la orografía que se ha de comportar y evolucionar de forma predecible, de acuerdo a los principios de diseño establecidos
- la disposición de unos ecosistemas apropiados y sostenibles.

El diseño del relieve para la rehabilitación requiere una perspectiva holística de las operaciones mineras, donde cada etapa operativa y cada componente de la mina sea parte de un plan que considere el ciclo de vida completo de dicha mina, como las operaciones de planificación y el uso final del lugar. Este plan tiene que ser flexible para acomodar cambios de método y tecnología.

La maximización de la planificación reduce la alteración del lugar y asegura que materiales como los desechos de rocas se sitúen cerca de su posición final. Se pone énfasis en obtener y analizar tanta información como sea posible sobre el lugar. Tal investigación tiene dos usos principales—proporciona los datos de partida para la planificación de la mina y la información esencial para la fase de rehabilitación y cierre, cuando el lugar se restaure para la actividad pos-minera acordada.

Los factores claves que se necesitan considerar en los estudios previos a la minería son los requerimientos legales, el clima, la topografía, las tierras y las opiniones de la población. Las opiniones de la comunidad son claramente lo más importante en la decisión sobre el uso final del terreno puesto que serán ellos los más probables usuarios del lugar. Puede también evaluarse su conocimiento y experiencia para comprender aspectos del lugar.

El uso pos-minero del terreno debería definirse conjuntamente con los grupos de interés relevantes como los departamentos de gobierno, los ayuntamientos locales, las organizaciones no gubernamentales, los Propietarios Tradicionales y los dueños de terrenos en la zona.

Comprender el lugar, incluyendo sus características de drenaje, también es necesario para diseñar y ubicar los componentes de la operación minera. Con la transferencia de esta información al software de minería, los planificadores de la mina ya cuentan con un modelo detallado del sitio original en el ordenador y de sus características de drenaje para tomar decisiones sobre la restauración o alteración en su diseño final.

Como toda la tecnología relacionada con la informática, las innovaciones se suceden y se actualizan rápido. Por tanto, los principios relacionados con la digitalización y el análisis de los datos son más importantes que programas específicos utilizados. También requieren consideración y planificación los usos finales que se darán al vacío resultante de las operaciones mineras. El relleno puede resultar antieconómico en algunos casos pero, en otros, la planificación podría evitar la creación de ese vacío. La seguridad también es crucial y se necesita un diseño creativo en conjunto con los obstáculos y advertencias sustanciales.

2.0 DESARROLLO SOSTENIBLE Y REHABILITACIÓN DE MINAS

Las minas pobremente rehabilitadas suponen un difícil legado para gobiernos, comunidades y compañías, y en último término empañan la reputación de la industria minera en su conjunto. Cada vez más, en tanto que el acceso a los recursos viene unido a la reputación de la industria, los procesos efectivos de cierre de una mina y la rehabilitación satisfactoria de la mina se convierten en esenciales para la capacidad de una compañía de desarrollar nuevos proyectos. La planificación deficiente invariablemente incrementa los costos de rehabilitación y cierre, en tanto que disminuye la rentabilidad en general. Tomando una perspectiva más integrada de la rehabilitación minera, de forma progresiva, se puede conseguir la rehabilitación efectiva de la mina. La industria y otras instituciones han desarrollado un conjunto de parámetros reguladores de desarrollo sostenible que ahora están dando sus frutos prácticos.

Para establecer un marco que articule e implemente el compromiso de la industria con el desarrollo sostenible, el Consejo de Minerales de Australia ha desarrollado el Valor Perdurable—el Marco por el Desarrollo Sostenible de la Industria Minera Australiana. El Valor Perdurable está específicamente orientado para apoyar a las compañías en su intención de ir más allá del simple cumplimiento, para mantener y reafirmar su licencia social para operar.

Table 1: Valor Perdurable Principio/Elemento/Orientación

ICMM Principio/Orientación Elemento	Descripción
Principio 6	Buscar la mejora continua de nuestra actuación ambiental
Elemento 6.3	Rehabilitar el terrero destruido y ocupado por las operaciones conforme a los usos más apropiados en la pos-minería.
Orientación	Consultar con las partes interesadas más relevantes y desarrollar un plan de cierre que defina claramente el uso que se dará a la zona después del cierre.
	Donde sea apropiado, rehabilitar progresivamente durante el transcurso de la operación. Monitorear los criterios de éxito acordados con las partes relevantes interesadas. Informar de las actuaciones.
	Llevar a cabo y apoyar la investigación de prácticas de rehabilitación de suelo y agua
	Utilizar tecnologías apropiadas para reducir los impactos negativos sobre el medioambiente y mejorar las técnicas de rehabilitación de una zona.
	Gestionar y, donde sea apropiado, rehabilitar la alteraciones históricas hasta un estándar apropiado (ver elementos 4.1, 6.3, .6.4, 7.1, 7.3, 9.1, 10.3).

2.1 Desarrollo sostenible: aspectos ambientales

No debería asumirse que el objetivo de toda rehabilitación consista en la creación de cierto tipo de ecosistema natural aproximado a lo que existía con anterioridad a la actividad minera. En zonas remotas de Australia, un retorno de la mina a un ecosistema natural estable es a menudo la opción preferida. Si tiene éxito, esto generará un terreno con un uso final de bajo mantenimiento, que consistiría en controlar las fugas de contaminación potencial desde el lugar.

En áreas de Australia más densamente pobladas (como zonas agrícolas o lugares próximos a núcleos urbanos) podemos contar con mayor variedad de opciones para el uso del suelo. Cuando los componentes de la zona minera tienen el potencial de utilizarse para la agricultura o para las actividades de la comunidad, existirá la necesidad de gestión más continuada. Es importante establecer desde el principio la capacidad a largo plazo de la comunidad local, de su ayuntamiento y de los grupos locales para llevar a cabo dichas actividades. Sin un compromiso a largo plazo y sin los recursos adecuados, los programas de rehabilitación gestionados pueden en última instancia fracasar.

2.1.1 Requerimientos reguladores

Los requerimientos reguladores establecen límites reales a las opciones de rehabilitación. Estas restricciones pueden surgir en forma de planes regionales para el uso del suelo, lo que limita los tipos de uso final del suelo que se pueden implementar. Si se cataloga una zona como cuenca hidrográfica, entonces existirán requerimientos para devolver al lugar las características compatibles con este objetivo. Esto puede descartar la agricultura intensiva debido al riesgo potencial de contaminación de los pesticidas o fertilizantes si estos entraran en contacto con las aguas. Si el lugar está rodeado de ecosistemas naturales, la introducción de piscifactorías podría suponer una amenaza para las especies autóctonas de la zona.

Las condiciones reguladoras para la rehabilitación también se pueden encuadrar como parte de las condiciones específicas de licencia para la aprobación de la actividad minera. En algunos casos existirá un conjunto estándar de condiciones aplicadas al proyecto, aunque cada vez más se presentan oportunidades para que el público participe en la formación de estas condiciones. Esto puede servir como acicate inicial para que la comunidad se involucre en beneficio mutuo del proyecto, de los reguladores y de la comunidad.

2.1.2 Restricciones físicas

Los atributos físicos de un lugar establecen las restricciones más determinantes sobre lo que se puede o no conseguir mediante un programa de rehabilitación. Puede que no se puedan re-introducir ciertos tipos de vegetación, como la tropical o la esclerófila, si la zona carece de algunas de las características requeridas (como la lluvia y la calidez). Esto puede deberse al régimen climático habitual de la zona, a procesos como el cambio climático o al resultado directo de la actividad minera. Es primordial determinar lo antes posible las restricciones físicas en el proceso de consulta para ir valorando las expectativas de las partes interesadas.

Algunas de las restricciones físicas clave a considerar durante la consulta se incluyen en la Tabla 2:

Tabla 2: Restricciones físicas claves

Clima: El régimen climático es el factor individual más importante a considerar cuando se desarrollan las opciones de rehabilitación de una mina. Si el último objetivo es conseguir paisaje estable, éste debe ser consistente con las condiciones climáticas habituales teniendo en cuenta los cambios potenciales del clima. La lluvia y la temperatura establecen límites reales sobre lo que se puede obtener de un lugar.

Tamaño: El tamaño del lugar tiene un impacto sobre las operaciones disponibles. La forma también es un factor, particularmente cuando consideramos aspectos como los derivados de un fuerte efecto de corte, como la colonización de plantas y animales autóctonos y la invasión de malas hierbas.

Tipos de tierra/roca: El tipo de tierra (arcilla, limo, arena), las propiedades físicas/químicas (pH, arcillas dispersivas/no-dispersivas) y la disponibilidad de nutrientes son los factores claves determinantes del tipo de vegetación que el lugar podrá soportar. Las prácticas de gestión, como la aplicación de correctores y fertilizantes de la tierra y la retención de la capa superficial para su empleo posterior en la rehabilitación, pueden mitigar algunas restricciones, aunque puede llevar décadas restablecer el ciclo de los nutrientes esenciales.

2.2 Desarrollo sostenible: aspectos sociales

Las compañías mineras en Australia se han comprometido con el desarrollo social y económico de las comunidades en donde operan. Ello entabla un compromiso para minimizar los impactos adversos de la minería sobre las comunidades vecinas, y también elevar la manera de mantener o mejorar el bienestar y la sostenibilidad social de las comunidades afectadas.

2.2.1 Compromiso comunitario

Llegar a un acuerdo sobre el uso final del terreno en una mina rehabilitada entraña el cuidadoso equilibrio de cumplir con las peticiones de los reguladores, de los residentes locales y de la amplia sociedad. Se puede obtener un asesoramiento más detallado a este respecto en el denominado Manual de Cierre y Terminación de Minas, perteneciente a esta colección. El objetivo de la comunidad, el compromiso y la consulta sobre el uso final de los terrenos tiene que traducirse en un conjunto de principios para el lugar, que permitirán a la compañía consolidar la zona de manera que cumpla los requerimientos reguladores y satisfaga las expectativas de la comunidad. La rehabilitación progresiva es el proceso que abarca la vida de la mina y que permite el cumplimiento de los objetivos sobre el uso final del sitio.

El Manual sobre Leading Practice de esta colección llamado: Desarrollo y Compromiso con la Comunidad proporciona más información y estudio de casos sobre las mejores prácticas en relación con compromiso efectivo de la comunidad y a los programas de desarrollo de la comunidad.

Las opciones de rehabilitación seleccionadas para el sitio tienen que ser compatibles e idealmente complementarias con los usos del terreno circundante. Debe prestarse particular atención a cualquier oportunidad de relacionar o conectar entre sí el hábitat de los diferentes parches con restos de vegetación. También existe la oportunidad de establecer un plan regional de rehabilitación más amplio, que tenga en cuenta las actividades de uso de suelo en el contorno. El intercambio de experiencia y la coordinación de actividades claves pueden resultar en un considerable incremento del beneficio comunitario.

Algunas regiones se implican en la planificación de la biodiversidad a nivel ambiental, como es el caso de los planes regionales de biodiversidad que se están llevando a cabo en New South Wales (Nueva Gales del Sur). La planificación a este nivel, durante proceso de evaluación y de aprobación, es una forma efectiva de gestionar temas como los corredores de flora y fauna, la determinación de las asignaciones ambientales de agua y la gestión de las especies protegidas y de las comunidades ecológicas.

Estudio de caso: Implicación de las comunidades en la planificación vital de las minas

Mina de carbón de Gregory Crinum, Queensland, Australia

Gregory Crinum se sitúa a 60km al noreste de la comarca rural de Emerald y a 375km al noroeste de Gladstone en Queensland y está compuesta por dos minas. Las operaciones en la mina a cielo abierto de Gregory comenzaron en 1979, mientras que la cercana mina subterránea de Crinum abrió en 1995. Ambas minas son explotadas por Billiton Mitsubishi Alliance (BMA). Tanto la de cielo abierto como la subterránea surten de carbón a una sola planta de preparación y desde allí se transporta por ferrocarril. Las minas están situadas en un área que ha sido clareada extensivamente para la agricultura y los pastos, aunque también contiene zonas con restos de vegetación, que merecen conservación por su escasez. El actual leading practice para nuevas operaciones es consultar a la comunidad en las primeras fases del proyecto. Los métodos de consulta a la comunidad utilizados por BMA para llevar adelante su plan de vida para la mina son un buen ejemplo de cómo las operaciones mineras existentes pueden mejorar sus prácticas e involucrar a las partes interesadas, para ayudar en las decisiones claves sobre los temas relativos al uso del suelo a largo plazo.

El proceso comenzó con una reunión pública en septiembre de 2002. Se formó un grupo de trabajo de la comunidad compuesto por las partes locales interesadas. Estaba formado por representantes de Landcare; grupos ambientales, agrícolas y de planificación regional; gobierno local; la Agencia de Protección Ambiental de Queensland; directivos de la mina Gregory Crinum y personal ambiental y de relaciones con la comunidad. Se contrató a un coordinador independiente para ayudar en la gestión del proceso.

Los aportes del grupo sirvieron para ayudar a determinar las mejores opciones de futuro para las diferentes unidades de tierra (o parcelas) que componen el arrendamiento minero, para que la mina pudiera realizar los diferentes trabajos de acondicionamiento, seleccionar

los árboles, arbustos e hierbas—todo lo necesario para transformar el plan en una realidad.

El grupo también ayudó a desarrollar los criterios que se utilizarán para juzgar si los futuros esfuerzos en la rehabilitación de Gregory Crinum van dando sus frutos progresivamente en la consecución del uso de suelo deseado.



Pastos y árboles de refugio en los terrenos arruinados por la mina



Matorrales en Yellowood no afectados por la minería

Se desarrollaron medidas específicas de éxito basadas en los diferentes usos potenciales de la tierra acabada la minería. Como categorías de opiniones se incluyeron el establecimiento de la vegetación (densidad, composición, riqueza de las especies y sostenibilidad); la gestión del polvo, fuego, malas hierbas y animales salvajes invasores; la función del ecosistema; la conectividad, como la unión de las zonas de importancia ambiental; la gestión del terreno acabada la minería; y la sostenibilidad de los usos del terreno propuestos. Se reconoció la importancia de proteger los restos de Brigalows (familia de las acacias) para la consiguiente conservación de los ecosistemas amenazados que son parte del hábitat de la especie rara el walabí rayado con cola de uña (Bridled Nail Tail wallaby).



Walabi rayado con cola de uña (Bridled Nail Tail wallaby)

Se desarrollaron medidas específicas de éxito basadas en los diferentes usos potenciales de la tierra acabada la minería. Como categorías de opiniones se incluyeron el establecimiento de la vegetación (densidad, composición, riqueza de las especies y sostenibilidad); la gestión del polvo, fuego, malas hierbas y animales salvajes invasores; la función del ecosistema; la conectividad, como la unión de las zonas de importancia ambiental; la gestión del terreno acabada la minería; y la sostenibilidad de los usos del terreno propuestos. Se reconoció la importancia de proteger los restos de Brigalows (familia de las acacias) para la consiguiente conservación de los ecosistemas amenazados que son parte del hábitat de la especie rara el walabí rayado con cola de uña (Bridled Nail Tail wallaby).

La información sobre este estudio de caso la proporcionó Gregory Crinum Mine, propiedad de BMA. Más información sobre el proceso de consulta a la comunidad utilizado puede obtenerse contactando con BMA a través de su página www.bmacoal.com.

Se estableció un proceso de revisión para asegurar que el plan evoluciona con el tiempo e incorpora los cambios de valores de la comunidad y los avances del conocimiento científico.

El grupo de trabajo de la comunidad mantuvo 16 reuniones en ocho meses. Los miembros acordaron un número de usos para el terreno posibles para las diferentes parcelas. Éstos incluyen la conservación de la vegetación autóctona, la producción de pastos, la agricultura forestal, el ocio, los cultivos y la creación de áreas industriales.

El consiguiente proceso de revisión incluirá la información en circulación de Gregory Crinum sobre cualquier desarrollo que pueda interferir en los planes de la mina. Entonces, una vez al año, los miembros del grupo de trabajo de la comunidad y las personas por ellos invitadas se reunirán para revisar el plan de vida de la mina, para medir el progreso de rehabilitación llevado hasta el momento en relación con las medidas de éxito y, de ser necesario, realizar cambios en el plan.

BMA está utilizando actualmente un

2.2.2 Gestión del patrimonio indígena

Aproximadamente el 60 por ciento de las actividades mineras linda con una comunidad indígena. Para muchas explotaciones la gestión del patrimonio indígena es un asunto familiar. Las compañías habitualmente buscan asesoramiento externo para gestionar los temas de patrimonio cultural indígena, reconociendo la necesidad de contar con el conocimiento de un especialista para concluir con éxito estos asuntos. Los estándares y sistemas exitosos de gestión requieren de la pronta consulta y evaluación de personas indígenas relevantes para determinar si las actividades propuestas son susceptibles de chocar contra los valores del patrimonio cultural y, junto al pueblo indígena, encontrar la mejor manera de planear y realizar dichas actividades para evitar o minimizar tales impactos.

Un tema clave es la identificación de los Propietarios Tradicionales y otros indígenas que pudieran tener derechos e intereses sobre el lugar. El conocimiento sobre el lugar podría dar lugar a restricciones culturales. Los indígenas suelen describir la importancia del patrimonio en términos generales y puede que eviten la discusión sobre el patrimonio de lugares y valores por razones de sensibilidad cultural.

El monitoreo y gestión del impacto de las operaciones mineras sobre el medioambiente local y la restauración de las zonas agredidas por las actividades mineras son temas significativos para las comunidades indígenas y otras partes interesadas. En muchos casos, puede que la única opción aceptable para los indígenas sea la total protección de algunos lugares. Las expectativas de la comunidad indígena sobre el proceso de rehabilitación pueden ser la restauración de un sitio significativo que haya sido eliminado o modificado durante la minería. Los requerimientos indígenas sobre la gestión pueden incluir asuntos como la recuperación, eliminación y/o almacenaje del material cultural agredido por la actividad minera; y la repatriación del material eliminado de la zona para su análisis

Además de su importancia crítica para la gestión de los sitios de patrimonio cultural, el saber indígena puede proporcionar ayuda valiosa para comprender cómo era, con anterioridad a la actividad minera, el entorno ambiental y las interacciones ecológicas entre las especies y los ecosistemas. Tal ayuda puede ser esencial para el exitoso establecimiento de los ecosistemas autóctonos y los programas de rehabilitación.

2.2.3 Gestión del patrimonio no-indígena

Además de la necesidad de incluir consideraciones específicas sobre el patrimonio indígena, los lugares de las minas también tienen el potencial de incluir sitios de importancia histórica no-indígena, particularmente en áreas con una larga historia de asentamientos y minería.

Mientras que algunos de estos sitios puede que ya estén catalogados por las agencias reguladoras, las explotaciones nunca deben confiar solamente en estas agencias para identificar todos los valores patrimoniales relevantes en un lugar.

Un objetivo del compromiso de la comunidad debe ser la identificación de las zonas con importancia para la comunidad. Éste es particularmente el caso de las opiniones y otros valores, en que el reconocimiento formal y la protección de estos valores van a variar ampliamente entre distintas regiones.

2.3 Desarrollo sostenible: caso empresarial

El caso empresarial para acercarnos a la rehabilitación de las minas desde una perspectiva de desarrollo sostenible de forma planificada, estructurada y sistemática que se implementa progresivamente sobre el conjunto del ciclo incluye:

Mejor gestión de la mina

- oportunidades para optimizar la planificación y las operaciones durante la vida útil de la mina para la extracción eficiente de recursos y para el uso posterior del terreno (por ejemplo, menores zonas agredidas y reducción del doble manejo de la tierra superficial y de los materiales de desecho)
- identificación de las zonas de alto riesgo como prioridades para la investigación en curso y la restauración
- la rehabilitación progresiva proporciona oportunidades de poner a prueba y de mejorar las técnicas adoptadas
- menor riesgo de incumplimiento regulatorio.

Mayor compromiso de las partes interesadas en la planificación y la toma de decisiones

- desarrollo más informado de estrategias y programas para dirigir los impactos, idealmente como parte de un enfoque de desarrollo comunitario desde el principio de la vida de la mina.
- mayor receptividad de la comunidad a las propuestas mineras futuras
- realce de la imagen pública y la reputación.

Reducción de los riesgos y de las responsabilidades

- disposición financiera y material asegurada para la rehabilitación de la mina mediante una estimación más precisa de los costos de rehabilitación
- reducción de la exposición al contingente de responsabilidades relacionadas con la salud pública y los peligros y riesgos medioambientales.



3.0 PLANIFICACIÓN

3.1 Consulta durante la planificación inicial de la mina

Durante la planificación inicial de la rehabilitación minera es el objetivo debe ser la identificación de grupos y organizaciones existentes en la comunidad que estén ya involucrados en actividades similares. Grupos como Landcare, Greening Australia, organizaciones de granjeros y cuidadores de las prácticas campesinas tradicionales tienen un importante conocimiento local que puede ayudar a minimizar los impactos de la minería y a realzar las oportunidades de una rehabilitación exitosa.

Gran parte de esta primera fase en la planificación de la rehabilitación tiene que ver con la localización de vacíos informativos y la identificación de programas de investigación o intentos específicos del lugar para aportar la información necesaria. La consulta con los grupos interesados en esta fase puede dar como resultado una investigación y unas pruebas mejor enfocadas, además de realzar la transferencia potencial de conocimiento en los proyectos de la comunidad. En las zonas donde se ha realizado un aclarado extensivo, además de en las regiones agrícolas, esto puede dar como resultado que los programas de rehabilitación se integren en proyectos regionales y administrativos más amplios.

3.2 Requerimientos legales

Cada estado australiano y territorio tiene sus propios requerimientos legales en relación con la manipulación y gestión de los materiales mineros de desecho. Las compañías deben contactar con la autoridad estatutaria más relevante para discutir sus requerimientos y cualquier directriz existente que se tenga que tener en cuenta.

3.3 Caracterización de los materiales

Tanto los desechos como la mena que se van a excavar pueden ofrecer oportunidades y riesgos para la rehabilitación. Como base de la planificación minera, la caracterización del suelo superficial y de las capas que cubren la mena o terrenos de sobrecarga debería comenzar al principio junto a la fase de exploración y continuar con las fases de estudio de viabilidad y pre-viabilidad. La temprana caracterización de los materiales permite desarrollar planes para evitar los riesgos potenciales y ganar el máximo beneficio del material, que puede ser apropiado para la construcción, la infraestructura del sitio o la rehabilitación.

La caracterización de dichos materiales se debería realizar para asegurar que no tienen el potencial de crear un impacto adverso o que no van a impedir el éxito de la re-vegetación durante la actividad de la mina o a su cierre. La necesidad de una caracterización prosigue durante la operación en la mina, particularmente cuando la tipología de la mena y el plan minero cambian como respuesta a la alteración en las condiciones del mercado.

Las infraestructuras de la mina tales como los depósitos run-of-mine (ROM) -de mena recién extraída-, los caminos o las áreas para los contratistas sólo deben construirse utilizando materiales "benignos".

Si es posible, estas estructuras deben situarse en zonas que ya estaban despejadas para minimizar la cantidad de rehabilitación necesaria.

Para la estabilización y rehabilitación de la orografía, la caracterización de los materiales presentes puede permitir un emplazamiento selectivo durante la transformación de la orografía para minimizar los riesgos de erosión o de fracaso en la re-vegetación. También puede permitir que los trabajos de remedio, de planificación o de investigación sean más efectivos en tiempo y costo.

La caracterización de los materiales normalmente engloba los análisis mineralógicos, físicos, químicos y biológicos. El valor de las pruebas de laboratorio usadas para la caracterización de los materiales de la zona minera depende en gran medida de la efectividad del diseño del protocolo de muestras. Dollhopf (2000), De Gruijter (2002) y Yates and Warrick (2002) proporcionan una guía útil para estas actividades.

Las pruebas de laboratorio son extremadamente útiles en la identificación de las principales limitaciones para la estabilidad o para el crecimiento de las plantaciones. Para un cierto tipo de vegetación, los ensayos en el invernadero (Asher y otro, 2002) y en el lugar de la mina pueden ser necesarios para evaluar aspectos más sutiles de la probable actuación de los diferentes tipos de plantas en las tierras de la pos-minería (Bell, 2002).

Análisis mineralógicos

El análisis mineralógico es una ayuda útil en la caracterización del terreno de sobrecarga, los desechos de roca, las pérdidas de material amontonado-filtrado y las escorias, puesto que puede identificar la presencia y naturaleza de sulfatos potencialmente productores de ácido, los cuales pueden afectar seriamente el crecimiento de las plantas de forma directa por los valores bajos de pH, o de forma indirecta por la creación de excesivas concentraciones de metales solubles.

En Dixon and Schulze (2002) se nos presenta un debate comprensivo sobre las pruebas más apropiadas para evaluar las limitaciones mineralógicas de los materiales en la zona minera en beneficio del crecimiento vegetal. En Williams and Schuman (1987), Hossner (1988) y Sparks y otros (1996) se nos describen las pruebas más apropiadas para evaluar las limitaciones geoquímicas de las tierras y los desechos de la mina como medio para favorecer el crecimiento. (1996). MEND Manual Volume 2 (Tremblay y otro, 2002) describe la propuesta desarrollada en Canadá para los muestreos y los análisis geoquímicas de los materiales de la mina.

Análisis físico

Las pruebas físicas permiten una evaluación de aquellas propiedades que son importantes para el crecimiento de la vegetación, es decir:

- adecuar la capacidad disponible de agua para permitir la supervivencia de las plantas durante períodos de estrés hídrico,
- adecuar el drenaje interno para prevenir la posible inhibición del crecimiento de las raíces por la falta de aire y
- no limitar el impedimento mecánico para la penetración de las raíces.

Adicionalmente, las pruebas físicas se realizan para predecir la susceptibilidad a la erosión de las tierras y los desperdicios de roca. Esta información es esencial en la construcción de orografías pos-mineras estables.

Como mediciones específicas de las propiedades físicas del suelo se pueden incluir:

- distribución del tamaño de las partículas
- plasticidad de las escorias y de los suelos
- densidad o porosidad
- fuerza y compresibilidad
- capacidad de absorción de agua y conductividad hidráulica, ambas bajo condiciones saturadas e insaturadas.

La capacidad de almacenamiento de agua en perfil de suelo se define generalmente como la capacidad de agua disponible para una planta (PAWC), que es una función no sólo de la capacidad de almacenamiento de agua de un material en particular, sino también de la profundidad a las raíces con la que se dispone. El drenaje a profundidad de los estratos de la superficie también va en función de la PAWC, siendo mayor cuando la PAWC es baja.

El nivel de PAWC necesaria para el buen crecimiento de las plantas y la minimización del drenaje a profundidad va en función de la lluvia y del modelo hídrico. Sin embargo, existen situaciones donde la baja conductividad hidráulica de los estratos superficiales puede limitar la filtración del agua y reducir drásticamente la disponibilidad de agua para las plantas. Cualquier modelo que se haga sobre el equilibrio del agua debería considerar los impactos de las propiedades del suelo sobre la filtración del agua y del crecimiento de las plantas sobre las propiedades del suelo. El notable incremento de la filtración debido al crecimiento de las plantas está ampliamente documentado, como en (Silburn y otro, 1992; Scanlan y otro, 1996; Carroll y otro, 2000).

La caracterización física de los materiales presentes en una mina se basa mayormente en las pruebas de laboratorio, complementadas por las pruebas del terreno para representar mejor las condiciones y la escala del mismo. Como ejemplos de pruebas que se realizan del terreno tenemos el tamizado de desechos de roca gruesos (para estimar la distribución del tamaño de las partículas en desechos de roca gruesos, mediante el análisis en el ordenador de fotografías digitales de alta resolución), la prueba de densidad del terreno (incluyendo pruebas a gran escala de sustitución de agua en desechos de roca gruesos) y pruebas de permeabilidad en desechos de rocas, escorias y materiales de cubierta.

En Williams and Schuman (1987), Hossner (1988), Sobek y otros (2000) y Dane and Topp (2002) se nos describen las pruebas más apropiadas para evaluar las limitaciones físicas de los materiales de la mina como medio para favorecer el crecimiento.

Erosionabilidad

En términos generales, la erosionabilidad describe la susceptibilidad de un material cualquiera a erosionarse. Debido a las enormes diferencias respecto a la erosionabilidad de los materiales excavados durante la minería, no es probable que resulte consistentemente exitoso el uso de perfiles con pendiente diseñados genéricamente.

La erosionabilidad se puede predecir (con limitada precisión) sobre la base de las propiedades de un material o se puede medir con mayor precisión mediante técnicas de laboratorio o experimentación sobre el terreno (Loch, 2000a). Es crucial que dichas mediciones consideren ejemplos característicos del material de interés y aseguren que el material (al realizarse las pruebas) sea apropiadamente consistente para unas condiciones de suelo a largo plazo. La comprobación de la erosionabilidad puede suponer estudios de laboratorio o de campo utilizando flujos terrestres, incluso se puede utilizar terreno instrumentalizado bajo lluvia natural.

Las propiedades del suelo que pueden afectar directamente sobre la erosionabilidad son:

- la capacidad de infiltración, que está determinada por la estructura del suelo y la estabilidad estructural, por la vegetación y por la fauna terrestre
- la cohesión del suelo, que puede afectar el grado de desprendimiento de los sedimentos
- las propiedades de los sedimentos (tamaño y densidad), que afectan el grado de transporte de los sedimentos.

Los materiales rocosos son típicamente resistentes a la erosión debido al tamaño relativamente grande y a la alta densidad de las partículas de roca que resultan expuestas en la superficie. Las rocas pueden considerarse bien como componentes intrínsecos de los materiales o como una cubierta del mantillo.

Análisis químico

Una importante consideración respecto a las propiedades químicas de los desechos mineros es el potencial que hay de producción de ácido a partir de la oxidación del sulfuro, lo cual se trata más a fondo en un manual específico.

Otras pruebas químicas importantes para los suelos y los desechos tienen que ver con la influencia que tienen dichas propiedades sobre el crecimiento de las plantas (pH, salinidad y nutrientes), la estabilidad de los materiales y las pruebas sobre los elementos que pueden perjudicar la calidad del agua.

Incluso si se realiza el conjunto de análisis más apropiado sobre los materiales para la planificación minera de operación y cierre, el éxito de su caracterización dependerá de la utilización de un protocolo riguroso de muestreo para asegurar que consigue una evaluación precisa de la viabilidad de los materiales.

Extremos del pH

Para conseguir una rehabilitación exitosa, los materiales de desecho (o materiales que forman el terreno para el crecimiento) deberían ser comprobados para asegurar que su pH está entre las variables 5.5 y 8.5, que se consideraran comúnmente aceptables para el crecimiento vegetal, o está cercano a los niveles de pH de la superficie en los suelos autóctonos. Con esto se reconoce que existen áreas donde ciertamente la vegetación está adaptada a los valores de pH considerados fuera de las variables "normales".

Los aspectos químicos más simples para medir las condiciones potenciales de crecimiento son el pH y la salinidad. A pesar de contar con análisis de suelo rápidos y relativamente baratos, los extremos del pH y la salinidad continúan siendo las causas más comunes del escaso crecimiento de las plantas en las zonas rehabilitadas.

Salinidad

El incremento capilar de la sal en la cubierta superficial y la filtración salina puede producirse en lugares en que se han extraído materiales salinos y después se han colocado en situación superficial. La salinidad elevada puede prevenir la germinación de las semillas, retardar el crecimiento vegetal y reducir la diversidad del ecosistema. Se puede minimizar el incremento de capilaridad salina mediante:

- la utilización de superficies arenosas, puesto que su conductividad hidráulica insaturada es menor que la de los suelos arcillosos

- la mezcla de rocas con la capa de tierra superficial para incrementar la filtración
- la utilización de capas superficiales de profundidad mayor a 500 milímetros.

Sodicidad y riesgo de chorreras

Los materiales sódicos se definen generalmente como aquellos compuestos principalmente por sodio con menos del seis por ciento de capacidad de intercambio de cationes con el suelo. La sodicidad es relevante porque los materiales con sodio son propensos a la dispersión de las arcillas con la humedad. Esto puede derivar en una baja capacidad de permeabilidad y drenaje, que provoca el endurecimiento de la superficie cuando se reseca y que tiene un considerable potencial para que se produzca erosión mediante chorreras. La dispersión de la arcilla será más significativa en materiales arcillosos que en materiales con menos de un 10 por ciento de arcilla. El grado de dispersión producido también dependerá de la salinidad, que tiende a suprimir la dispersión.

La formación de chorreras se destaca en lugares donde el estancamiento del terreno ha producido la filtración de la sal, provocando la dispersión de la arcilla y también produciéndose la escorrentía del agua estancada dando lugar a la formación de chorreras. La erosión de las chorreras se puede también producir en materiales limosos, finos y no-dispersivos, por tanto los protocolos de pruebas tienen que considerar toda la gama de mecanismos que pueden provocar la erosión mediante chorreras.

Los materiales sódicos se suelen tratar típicamente mediante yeso (a menos que el suelo ya contenga un alto nivel de yeso). Los limos pueden ser efectivos si el material que se quiere tratar tiene también propiedades ácidas.

La sodicidad se evalúa generalmente mediante el análisis de los cationes intercambiables y mediante la Cation Exchange Capacity (CEC) o capacidad de intercambio de cationes. Con los materiales salinos se tiene que tener cuidado en distinguir entre cationes solubles o intercambiables.

Nutrientes vegetales

Para conseguir una apreciación general sobre estatus nutritivo del suelo, se pueden realizar análisis sobre los macro-nutrientes vegetales (nitrógeno, fósforo, potasio y también calcio, magnesio y azufre), junto a una gama de micro-nutrientes. Sin embargo, la aplicación afectiva de fertilizantes requiere de un gran conocimiento sobre las condiciones específicas de rehabilitación.

Sería muy simplista sugerir que la vegetación autóctona está “adaptada a las condiciones de escasez de nutrientes y por tanto no se necesita fertilizante adicional”. Esto no siempre es así; la vegetación autóctona puede verse decididamente favorecida por el aporte de nutrientes, si los suelos están degradados por haberse removido y sustituido. La respuesta a los nutrientes específicos puede también variar y a veces puede ofrecer la oportunidad de favorecer el desarrollo de una determinada especie a costa de sus competidores. Igualmente, los altos niveles de nutrientes, o los altos niveles de un elemento específico, pueden ayudar al asentamiento de algunas especies de malas hierbas.

La forma de aplicar los fertilizantes es también importante. Por ejemplo, el esparcimiento de un nutriente inmóvil sobre la superficie de una zona rehabilitada puede producir una escasa respuesta puesto que las raíces de las plantas rara vez están activas en la superficie.

Como la fertilización suele hacerse sólo una vez (con la siembra), la cantidad de fertilizante empleado tiende a producir una respuesta inicial además de una sostenibilidad a largo plazo de la comunidad vegetal instalada.

Análisis biológicos

La vegetación sostenible en los paisajes pos-mineros, como parte de un ecosistema sostenible, necesita que tanto los componentes superficiales como los profundos actúen bajo ciertos parámetros. El primer paso para lograr una re-vegetación sostenible es realizar una evaluación biológica en el punto de partida de los materiales pos-mineros, incluida la superficie del terreno.

Los factores claves que se debe tener en cuenta son:

- La biomasa microbiana o actividad de los materiales proporcionará un índice del nivel de actividad biológica residual en los materiales para comparar con la superficie del terreno alrededor de la mina u otra análoga apropiada.
- El contenido orgánico proporciona la base para la actividad biológica antes y durante el rejuvenecimiento del ecosistema. También tiene un papel en la retención de agua y el aporte de nutrientes.
- Disponibilidad de semillas viables en la superficie del terreno—éste es un requerimiento esencial si se pretende restaurar los sistemas autóctonos o controlar las malas hierbas.
- Los ensayos en invernadero pueden determinar la idoneidad de las especies estudiadas con los materiales de la minería y evaluar definitivamente las deficiencias de nutrientes y la toxicidad potencial, mejor que únicamente con ensayos de laboratorio.
- Los fijadores de nitrógeno (tanto simbióticos como autónomos) son a veces clave para la progresión en el desarrollo del ecosistema en las primeras etapas. Estos pueden ser receptores bastante específicos y por eso la presencia de organismos adecuados puede ser fundamental para el éxito de algunas especies vegetales.
- Los hongos micorrizales proporcionan el mecanismo primario de recepción de nutrientes en la mayoría de las especies vegetales existentes en Australia. Esta simbiosis no es tan específicamente receptora como tantas otras fijadoras de nitrógeno, aunque es a menudo importante para la sostenibilidad en la toma estable de nutrientes bajo tierra, aumentando la tolerancia a la sequía y ayudando a la supresión de patógenos.
- En algunos casos específicos pueden ser necesarias evaluaciones especializadas como la de presencia de bacterias metabolizadoras del azufre.

Estos factores constituyen las características biológicas esenciales de los materiales, particularmente de aquellos que se utilizan como superficie y en la zona de enraizamiento de las plantas.

Un conjunto de otros factores biológicos, como los polinizadores y los “ingenieros de ecosistemas” (principalmente invertebrados como colémbolos, hormigas, termitas y lombrices), pueden tener un papel esencial en la reconstrucción de los ecosistemas terrestres sobre materiales mineros, por lo que deberían ser tenidos en cuenta.

3.3.1 Segregación de Materiales y Colocación Selectiva

La caracterización comprensiva de suelos, sobrecargas y desechos proporciona la base para la

segregación rigurosa y la colocación selectiva de los materiales, para conseguir una cubierta vegetativamente sostenible y para prevenir la contaminación de la superficie y los acuíferos.

Excepto en un limitado número de circunstancias, la implantación de ecosistemas sostenibles tras la actividad minera generalmente necesita de la sustitución y conservación de los recursos del suelo sobre la zona minera. Los temas que se necesitan considerar de forma sistemática son:

- la selección de horizontes de suelo a conservar,
- el proceso de retirada de suelo y colocación,
- el efecto de acumular propiedades sobre el suelo, y
- la profundidad óptima del suelo sustituido.

La segregación y colocación selectiva del material de sobrecarga que cubre el mineral ha de practicarse por dos razones, que son:

- 1) para enterrar el material que es adverso para el crecimiento vegetal o que puede contaminar la superficie o los acuíferos; y
- 2) para proteger los materiales que necesitaremos para el programa de rehabilitación. Los estratos de la sobrecarga pueden ser particularmente indeseables por causa de su salinidad, sodicidad o potencialidad para generar ácido por la oxidación del sulfuro.

Los análisis mineralógicos, físicos y químicos de las muestras de perforación y de los cateos realizados en la primera etapa de actuación minera, permiten que los desechos de roca situados alrededor del filón de mena sean manipulados en conjunto de la misma manera que la mena. La clasificación de las sobrecargas, en consideración de factores como la capacidad potencial de generación de ácido, la susceptibilidad a la erosión y las limitaciones para el crecimiento vegetal, proporciona la base para una segregación efectiva de los materiales durante la construcción de la balsa para los desechos de roca.

Cuando el terreno de sobrecarga anterior a la minería contiene material sulfuroso, que puede provocar el drenado del ácido, la zona de superficie aclimatada (oxidada) es un recurso valioso y se necesita tener cuidado para asegurar que este material no se termina enterrando con rocas sulfurosas al final de la operación minera.

Es importante que sea personal experimentado quien se encargue de la clasificación de los distintos tipos de desechos rocosos y de la vigilancia sobre su retirada y colocación durante la construcción de la balsa para desechos. El fallo en el mantenimiento de los controles de calidad a esta fase de la operación minera puede poner en peligro la protección ambiental, tanto en las operaciones como en el consiguiente cierre.

La implantación de vegetación sostenible sobre escorias puede requerir el cubrimiento de estos materiales con suelo o desechos de roca benignos. En ciertos casos, la segregación de las escorias en la planta metalúrgica en términos de tamaño de partículas y/o mineralogía puede ser útil en posteriores etapas de deposición para crear un material no-hostil capaz de admitir el crecimiento vegetal.

3.3.2 Presupuesto de materiales y calendario

Es importante que se realice la planificación de la mina para calcular el volumen de los materiales apropiados a disposición de los diferentes propósitos de rehabilitación, como pueden

ser: materiales para formar el horizonte "B" en el perfil de la cubierta terrestre, el medio superficial para el crecimiento que debe situarse sobre el horizonte "B" y el material para encapsular los desechos sulfurosos.

El presupuesto o disponibilidad de materiales y su localización se integra con el plan de la mina para minimizar la doble manipulación y el amontonamiento (especialmente a largo plazo) de estos materiales adecuados. El presupuesto de materiales y el calendario aseguran la disponibilidad de materiales adecuados en el momento requerido y a disposición del proceso de rehabilitación.

3.4 Evaluación del lugar

En el pasado, los diseños utilizados en los trabajos de rehabilitación solían ser relativamente fijos, aplicando diseños de relieves concretos y prácticas de construcción virtualmente independientes a la localización o propiedades de los materiales. Ahora existe un creciente interés en desarrollar planes de rehabilitación a medida para manejar y disponer correctamente de los materiales existentes, servirse del medio predominante y tomar en consideración el uso final demandado para la tierra.

3.4.1 Medidas de protección

Especies en peligro y protegidas

Las especies de animales y plantas autóctonas 'raros' y en peligro están protegidas por las leyes australianas estatales y regionales. La legislación a este respecto de la Commonwealth of Australia es la *Ley sobre la Protección Medioambiental y la Conservación de la Biodiversidad de 1999*.

Las autoridades estatutarias realizan la evaluación de impacto ambiental para cada propuesta minera antes de dar su aprobación para proceder. Cualquier impacto potencialmente adverso sobre las especies 'raras' y protegidas tendrá que ser gestionado y eliminado para la aprobación de la autoridad reguladora.

Lugares de patrimonio

Australia cuenta con diversas formas de identificar y proteger los lugares importantes de patrimonio. Las decisiones sobre la gestión del patrimonio se toman a tenor de las leyes a todos los niveles administrativos. Los estados y territorios tienen una responsabilidad primaria en la protección del patrimonio cultural. Todos los estados y territorios tienen una legislación que proporciona un manto de protección para los yacimientos arqueológicos indígenas. Actualmente las leyes estatales y territoriales presentan una variedad de definiciones sobre el patrimonio cultural aborígen. Algunas legislaciones, incluida la Commonwealth, protege las zonas y los lugares significativos de acuerdo con la tradición aborígen. Las leyes de otras jurisdicciones presentan definiciones que se centran en las "reliquias" o lugares arqueológicos y no dan peso a los valores culturales de los aborígenes.

La *Ley sobre la Conservación Medioambiental y la Protección de la Biodiversidad de 1999* (EPBC Act) es la principal ley sobre patrimonio nacional del gobierno australiano. La EPBC Act destaca la gestión y protección de los lugares patrimoniales de Australia.

Cualquier acción propensa a tener un impacto significativo sobre una propiedad de Patrimonio Mundial o Nacional tiene que remitirse al Ministerio de Medioambiente de la Commonwealth para su consideración.

La *Ley de Protección del Patrimonio y de los Aborígenes e Isleños del Estrecho de Torres* de 1984 (ATSIHP Act) es la legislación de la Commonwealth que trata de la preservación y la protección contra el daño o la profanación de zonas u objetos de Australia y de sus aguas con especial significado para el pueblo aborigen de acuerdo con su tradición. Esta ley de la Commonwealth pretende cubrir las situaciones donde las leyes estatales o territoriales no otorguen protección efectiva para una zona u objeto que se encuentren amenazados. La ATSIHP Act no presta protección cuando las leyes estatales o territoriales se muestran competentes.

Cuando un proyecto pudiera impactar sobre los valores, lugares o sitios indígenas, se requiere que los promotores obtengan la aprobación de las leyes estatales o territoriales, y en algunas circunstancias la ley de la Commonwealth. La consulta pronta y culturalmente apropiada al pueblo indígena es un elemento clave para la evaluación y gestión de los impactos sobre los valores patrimoniales indígenas.

3.4.2 Clima

El clima es causante de impactos enormes en la estabilidad del relieve y en la rehabilitación de los terrenos. La evaluación del clima en un lugar es esencial para asegurar que:

- los objetivos de rehabilitación y uso final del terreno son realistas
- las especies vegetales utilizadas son apropiadas
- los perfiles de terreno diseñados son apropiados para el crecimiento vegetal
- los relieves son diseñados para un comportamiento estable bajo las condiciones imperantes
- los sistemas de cubierta terrestre están diseñados apropiadamente.

Los datos meteorológicos tienden a obviar las condiciones climáticas extremas. Por tanto, la planificación no debe considerar sólo las condiciones habituales a largo plazo, sino también las extremas de sequía, viento y lluvia a corto plazo.

La lluvia ocasional puede producir un impacto considerable en el comportamiento del relieve y la vegetación. Cuando existen estaciones secas y lluviosas diferenciadas, el tiempo empleado en la rehabilitación puede ser primordial para el éxito.

3.4.3 Medio de crecimiento

El medio de crecimiento se refiere a los materiales situados en la superficie de un área rehabilitada o relieve con la esperanza de que ayudarán al crecimiento vegetal. Tales materiales consisten normalmente en las superficies terrestres retiradas al comienzo de la minería, aunque no siempre es así. El tiempo, las condiciones del suelo y las técnicas de manipulado, todos influyen en la capacidad de retener la estructura del terreno y reducir la compactación. Es esencial que las limitaciones para el crecimiento de las plantas en una zona determinada se comprendan al máximo con anterioridad a la planificación de los trabajos de rehabilitación.

En algunos casos, la superficie del terreno contiene una gran carga de semillas de malas hierbas o de especies no deseadas. Para evitar la proliferación de estas especies podría ser necesario tratar la vegetación antes de manipular el terreno o utilizar los materiales excavados de mayor profundidad. Sin embargo, en muchos casos, el componente biológico de los suelos puede ser muy importante. Contiene una carga de semillas que podría incluir especies difíciles de obtener o germinar, además de una gama de micro-organismos que pueden mejorar el crecimiento vegetal y estabilizar los suelos. En estos casos, puede ser crucial la gestión apropiada del suelo para minimizar el daño a sus micro-organismos..

3.4.4 Presupuesto de sal

En muchas zonas mineras, alguna o toda el agua disponible para el uso suele ser salina, particularmente si es reciclada. Una consecuencia del consumo de agua es el movimiento de sales por la zona y, potencialmente, la acumulación de sales en distintos lugares. Por ejemplo, si se utiliza agua salina para aplacar el polvo en los caminos, entonces esas carreteras acumularán sal, lo cual puede afectar a su eventual rehabilitación. Otros sitios potenciales de acumulación de sal son las balsas de evaporación y las trampas de sedimentos.

El presupuesto de agua de un lugar suele estar estrechamente ligado al presupuesto de sal. Esto nos sugiere que las zonas potenciales de acumulación de sal deben ser identificadas y su gestión planificada para minimizar los problemas a largo plazo.

3.5 Planeamiento del programa de rehabilitación

Si la evaluación inicial de la zona (tratada en la Sección 3.3) nos muestra un significativo riesgo o inconvenientes para la rehabilitación, entonces se tiene que realizar una investigación para desarrollar y validar métodos (controles) para gestionar esos riesgos y para monitorizar el éxito de las técnicas adoptadas. Ésto no debe retrasar el desarrollo de un detallado plan de rehabilitación para la zona minera. Los resultados de la investigación y de los intentos de rehabilitación sobre el terreno se emplean para modificar el plan a lo largo de la vida de la mina en un proceso de mejora continua.

3.5.1 Diseño del relieve

Es esencial el diseño de los relieves para minimizar los costos de construcción y minimizar los costos de mantenimiento a largo plazo. Tradicionalmente, se vertían los desechos para formar los relieves y para diseñar las alturas, formando las inclinaciones exteriores en etapas posteriores. La acumulación de material en ángulo de reposo sobre bancales conlleva la manipulación múltiple del material y la alteración de las rocas que anteriormente eran útiles. Cuando sea posible, debe planearse la acumulación en vertederos para cumplir con las necesidades de colocación selectiva del material y para minimizar los costos de reubicación final.

Para dar forma a un relieve en particular es importante ponerse de acuerdo en los objetivos, en cuanto al uso final del terreno, la estabilidad, las expectativas de la comunidad y el mantenimiento a largo plazo. No se debería comenzar un diseño detallado de la morfología hasta que estos objetivos estuvieran claramente articulados.

Ubicación del relieve

Los relieves artificiales tienen que situarse de forma que no interfieran con potenciales excavaciones futuras (incluida la expansión de la cantera) o accesos a nuevos filones de mena, por lo que probablemente se requerirán cateos de esterilización para confirmar la localización propuesta. Se deberán considerar los caminos fluviales superficiales del lugar para asegurar que la nueva morfología no desvíe ni obstruya alguna corriente importante.

La ubicación de formaciones demasiado cerca de los límites del arrendamiento puede ocasionar problemas con la gestión de los sedimentos y el control del polvo, lo que puede restringir futuras opciones de actividad. Deberá evitarse el impacto sobre la movilidad y acceso de la fauna a los abrevaderos. En algunos casos, existe la posibilidad de combinar distintas formaciones en el paisaje, de este modo minimizamos los efectos visuales y las potenciales preocupaciones de la comunidad.

Altura/huella

Se deberán minimizar los efectos de la zona de terreno alterada por la construcción de la nueva orografía (la huella). Sin embargo, los esfuerzos para minimizar la huella pueden llevar a la construcción de formaciones altas y empinadas con escaso potencial de estabilidad. Además, las formaciones altas y empinadas podrían no encajar con el relieve preponderante de la zona. Por tanto, es importante identificar con éxito la altura de las formaciones que se van a construir, es decir, encapsulando los desechos reactivos para evitar el riesgo de futura erosión de forma que se pueda evitar o minimizar el mantenimiento a largo plazo.

La altura estable posible dependerá de:

- el potencial erosivo (erosividad) del clima
- la erosividad de los materiales de superficie, incluido los desechos de roca, los contaminantes y el medio de crecimiento.
- la altura y el grado de inclinación
- la probable cubierta vegetal
- el perfil exterior del bancal creado (lineal, cóncavo, convexo) y cómo se construye.

Si la altura estable identificada es menor que la que se considera económica o prácticamente deseable, entonces se pueden investigar opciones para una mejor estabilidad de las formaciones, como la creación de un empedrado sobre las laderas exteriores.

Drenaje

Si el relieve contiene materiales de riesgo (potenciales para el drenaje de ácido o para la transmisión de algún contaminante), entonces sería muy aconsejable no situarlos en lo alto de la formación puesto que de retenerlos allí incrementamos el riesgo de drenaje hacia abajo. Igualmente, debería considerarse la plantación de árboles con raíces profundas para minimizar la infiltración profunda, siempre que el medio de crecimiento de la superficie tenga suficiente profundidad. Cuando el encapsulado sea importante, el diseño para la acumulación de desechos tiene que considerar tanto el control de la profundidad de drenaje (que podría incrementar el potencial de filtraciones) como la minimización de la erosión (que podría finalmente dejar al descubierto el material encapsulado).

El escape de escorrentías a partir de los desechos ubicados en la cima entraña significativo peligro. En muchas situaciones, la escorrentía desde la cima de la formación es localizada, por lo que se necesitaría cierto tipo de canal estable para conducir el flujo hasta el nivel del suelo, donde habría que situar un punto de descarga. Normalmente se utilizan conductos de roca o rampas, pero las posibilidades de falla de estas estructuras son muy altas. Cuando la vegetación (particularmente hierba) llega hasta niveles altos, es posible tener una escorrentía desde la cima de la formación que circule de modo constante y pausado hasta los bancales externos y se desplace hasta el nivel del suelo sin ocasionar daños. En estas situaciones, son esenciales altos niveles de cubierta de contacto en la superficie. Sin embargo, la descarga de las escorrentías reduce la disponibilidad de agua para sostener la vegetación, particularmente en climas estacionales secos.

Si las escorrentías se retienen en la cima del vertedero de desechos o de la instalación de almacenaje de escorias, es esencial tener en cuenta el posible estancamiento prolongado y el daño para las plantas. También es posible que el agua estancada en la cima de la formación

pueda causar cierto hundimiento sobre los materiales poco compactados y dar lugar a pozos. Por estas razones se debería minimizar la profundidad y duración de todo tipo de estancamiento en la superficie de las formaciones. Esto se puede conseguir manteniendo a nivel la cima de la formación, maximizando la rugosidad de la superficie e instalando diques para crear celdas relativamente pequeñas de una a tres hectáreas. También es apropiada la instalación de vegetación para incrementar el consumo de agua.

Modo de construcción

La construcción de las formaciones de terreno varía considerablemente, a menudo dictada por los métodos de excavación. Por ejemplo, los montones de residuos dragados ofrecen pocas opciones de ubicación selectiva, mientras que las operaciones con camión/pala permiten la ubicación selectiva para encapsular los materiales problemáticos, o para asegurar la colocación de los materiales más estables en la parte superior del relieve.

Una variedad de programas informáticos permite a las empresas optimizar los costos de construcción de los vertederos, asegurando esquemas óptimos de arrastre y vertido. Sin embargo, la mayoría de estos programas cuentan con suposiciones incorporadas que chocan con los resultados, por lo que éstas tienen que ser claramente comprendidas para conseguir los resultados planeados.

Perfiles

Las laderas y bancales exteriores construidas para los montículos han sido tradicionalmente lineales con bermas situadas a intervalos para interceptar los desprendimientos. Las bermas pueden servir tanto para recoger el agua como para encauzar las escorrentías hasta los drenajes de roca.

En general, la formación de cauces es el tipo de erosión más común producida en los relieves construidos sobre minas; esto es una consecuencia directa de la concentración de escorrentías sobre las bermas y de la descarga de caudal ladera abajo una vez saturadas las bermas. Las razones para el colapso de las bermas pueden ser la construcción inadecuada, la formación de chorreras por la erosión y la saturación por acumulación de sedimentos. En los lugares en que las tasas de erosión sean significativas (normalmente en zonas áridas con muy escasa vegetación) los perfiles de externos de bancal que cuenten con bermas necesitarán un mantenimiento regular (retirada de los sedimentos) en tanto que la erosión continúa, o de lo contrario terminarán por colapsarse con sedimentos y provocando la formación de cauces.

Por esta razón, en algunos sitios durante la rehabilitación inicial han adoptado la práctica de las bermas o cierta forma de bancales que cruzan la ladera, para después retirarlas una vez que la vegetación se ha establecido y la ladera se ha estabilizado.

En otros sitios se ha incorporado roca en la superficie de los bancales externos para reducir la erosión potencial y permitir la construcción de laderas relativamente largas y altas sin necesidad de utilizar bermas. Otra opción es crear laderas de perfil cóncavo para reducir la erosión potencial; normalmente con factor dos o tres.

Es importante considerar la rugosidad de la superficie para la rehabilitación de los relieves pos-mineros. La rugosidad tiende a atrapar agua y semillas, por lo que es de aceptación general el hecho que una superficie irregular proporciona mejor acomodo para la vegetación que otra alisada. Sin embargo, mientras que la creación de amplias superficies rugosas mediante cortes o "marcas lunares" puede dar beneficios a corto plazo, a la larga puede provocar un incremento de la erosión y la inestabilidad de las formaciones.

Este tema se trata con mayor profundidad en Landloch (2003). El valor de la rugosidad en la superficie está estrechamente unido al de su persistencia en el tiempo, que depende en mayor medida de la distribución del tamaño de las partículas con las que se creó la rugosidad.

Estudio de caso: Extracción de níquel en Murrin Murrin, Western Australia

El Proyecto de Murrin Murrin para la Extracción de Níquel y Cobalto (Murrin Murrin) se localiza en la región aurífera nororiental de Western Australia. Murrin Murrin es propiedad de Minara Resources Ltd (60%) y Glencore International AG (40%), quienes extraen menas de laterita y utilizan tecnología de filtración de ácido a alta presión para recuperar el níquel y el cobalto de dichas menas. La construcción del depósito inicial de residuos siguió las directrices estándar, con montículos de 10 metros de altura, creando bancales de 15 a 20 grados de pendiente separados por bermas de cinco metros de ancho para la retención de agua.

Se identificó la necesidad de mejorar la construcción del depósito de residuos para eliminar la formación de cauces sobre los bancales, debido a:

- los vertidos desde la cima de los depósitos de desechos
- la saturación y derrame de las bermas
- la concentración de corrientes ocasionales, causadas por los cortes realizados sobre las laderas como parte de las operaciones de rehabilitación.

El lugar también carecía de materiales tales como roca apropiada o desechos ásperos que pudieran utilizarse para estabilizar las laderas de bancales.

Para desarrollar una nueva iniciativa para la construcción del depósito de desechos, Murrin Murrin decidió evaluar la erosionabilidad de un conjunto de desechos y capas superficiales de tierra mediante pruebas de laboratorio y mediciones del terreno. Empleando esos datos y otros a largo plazo sobre la lluvia y el clima de ese lugar, se utilizaron simulaciones de ordenador sobre desprendimientos y erosión, para comparar sobre una serie de opciones de laderas de bancales externos. Los perfiles creados con laderas cóncavas presentaban una erosión relativamente baja, aunque se recomendaba el aporte de restos de árboles y gravilla de laterita para los segmentos de ladera que presentaban mayor potencial de erosión en las simulaciones.

En los lugares donde era posible la rehabilitación completa del depósito de desechos, los diseños incluían:

- diques para retener las escorrentías en lo alto de los depósitos
- diques cruzados y cortes en lo alto del depósito para minimizar el potencial de concentración significativa de escorrentías en cualquier punto
- laderas exteriores cóncavas sin bermas para concentrar la corriente o surcos descontrolados

- colocación estratégica de restos de árboles y laterita para proporcionar protección adicional contra la erosión en los puntos de mayor potencial erosivo
- caracterización de los materiales para establecer recomendaciones sobre fertilizantes y aditamentos.

Aunque los materiales residuales no son muy susceptibles de sufrir erosión por chorreras, siempre existe el potencial de que surjan canales o agujeros en la cima de las formaciones de desechos. Al minimizar la concentración de escorrentías desde la cima de los depósitos y evitar el estancamiento, el potencial de que se produzcan sumideros con salida a las laderas exteriores es muy bajo.

Los perfiles con laderas cóncavas más bien parecen relieves naturales y tienden a reducir la erosión con un factor de dos o tres en relación con las laderas lineales con el mismo promedio de pendiente. Deberían diseñarse sobre la base del clima y de las propiedades de los materiales presentes en el lugar.

En esta etapa (uno o dos años después de la construcción), los bancales depositarios de desechos construidos específicamente han mostrado escasos desprendimientos o erosión incluso después de sufrir una lluvia diaria de 1:10 anual. Esto ha confirmado que el proceso de diseño relativamente conservador ha sobreestimado el potencial de escorrentías y erosión (como era la intención). Con el tiempo, se espera que las laderas muestren alguna erosión, aunque los niveles de erosión a largo plazo seguirán siendo bajos.

Este enfoque ha eliminado los mecanismos por los cuales los depósitos de desechos fallaban con anterioridad y los ha sustituido por un proceso de planificación transparente basado en los procedimientos científicamente aceptados.



Ladera cóncava en Murrin Murrin Nickel Operation después de su construcción

3.5.2 Procesos de rehabilitación

Rehabilitación progresiva

La rehabilitación progresiva durante el tiempo de vida de la mina ayudará a reducir la responsabilidad de mantener el cuidado del lugar después del desmantelamiento de la mina, cuando no existen ingresos directos para compensar los gastos. También proporciona la oportunidad de comprobar las prácticas de rehabilitación y el desarrollo y mejoras graduales de los métodos empleados. También se mejorará el aspecto visual.

Para las formaciones individuales de terreno, la rehabilitación progresiva podrá ser beneficiosa en los lugares donde el asentamiento de la vegetación pueda proporcionar incrementos significativos en la estabilidad de las laderas exteriores. Al rehabilitar al mismo tiempo espacios relativamente pequeños de ladera, es posible construir gradualmente una ladera mayor y más estable, sin el riesgo de erosión que podría provocar la construcción y rehabilitación al mismo tiempo de la ladera por completo.

La implementación exitosa de la rehabilitación proporciona credibilidad para el responsable de la mina y anima a las autoridades estatutarias a conceder crédito cuando se evalúa el valor de las obligaciones de rehabilitación.

Tipos/comunidades/semillas/propagadores vegetales

En Australia es una práctica común utilizar especies autóctonas o de procedencia local para la rehabilitación de minas. Donde se puede, a menudo se planifica que la implantación vegetal sobre las tierras rehabilitadas se realice con vegetación y especies similares a las que había con anterioridad a la actividad minera.

También es esencial que se conserve cuanto se pueda de las semillas y propagadores existentes en los primeros centímetros de la capa superficial del suelo para los posteriores programas de re-vegetación.

Huecos y desviaciones

Todas las aberturas realizadas para la minería subterránea, o vacíos que se producen en la superficie por el subsiguiente colapso de las galerías, se tienen que asegurar— bien mediante cercados, precintos o rellenos.

Se requiere que todas las canteras al aire libre permanezcan seguras. Debe considerarse la construcción alrededor del foso de un gran muro o un vallado, instalados fuera de la zona de caída potencial. Las autoridades responsables imponen con frecuencia unas mínimas normas para estas tareas.

En algunas minas a tajo abierto, la planificación puede permitir que un foso se rellene con el material extraído posteriormente de otro foso contiguo según el programa de minería.

En la minería descubierta (utilizada industria mineral del carbón de superficie), los vacíos previos son rellenos con material procedente de las nuevas excavaciones.

Para el desvío de aguas superficiales es un procedimiento habitual restaurar los cursos originales a su situación previa, una vez clausurada la mina, cuando y donde se pueda.

Estudio de caso: Mina de carbón de Mt Owen, Hunter Valley, New South Wales (NSW)

Mt Owen Mine es una mina de carbón a tajo abierto situada en Hunter Valley, New South Wales. Mt Owen es propiedad de Xstrata Mt Owen (XMO), una filial propiedad de Xstrata Coal al 100 por ciento. La mina es explotada por Thiess Pty Limited bajo un acuerdo de societario con XMO y tiene licencia para producir hasta un máximo de 10 millones de toneladas de carbón run-of-mine al año para la exportación hasta diciembre de 2025.

Mt Owen realiza su actividad minera en la zona de Ravensworth State Forest (RSF). RSF está considerado como una reliquia a escala local y regional y es una de las mayores zonas que quedan de arbolado en la parte central de Hunter Valley. Desde 1995, se han registrado en RST o en los terrenos adyacentes 145 especies de aves, 24 mamíferos no voladores, 18 especies de murciélagos, 20 de reptiles y 15 de anfibios. En Mt Owen se han registrado diecinueve especies de fauna amenazadas de las incluidas en la Ley de 1995 para la Conservación de las Especies Amenazadas de NSW, incluido las ranas de campana verde y dorada (*Litoria aurea*), la ardilla planeadora (*Petaurus norfolcensis*), el tigre quoll (*Dasyurus maculatus*) y un número de murciélagos y aves arborícolas. Esto sitúa a MtOwen ante el reto único de compensar los impactos de la actividad minera sobre las comunidades nativas de flora y fauna, al igual que rehabilitar las zonas mineras de vuelta a su estado de bosque original.

En reconocimiento a la importancia de las comunidades de flora y fauna presentes en la zona del proyecto, Mt Owen ha implementado prácticas innovadoras para compensar los impactos de la minería sobre la flora y fauna, y para proporcionar una mejora sustancial en los valores ecológicos de la zona del proyecto a medio y largo plazo.

El programa de Mt Owen para la gestión de la flora y la fauna incorpora la rehabilitación del lugar de la mina y de las comunidades vegetales nativas adyacentes a la zona afectada. El programa está conducido por un comprensivo plan de gestión de flora y fauna, que fue desarrollado por un grupo asesor formado por representantes de los distintos departamentos de gobierno de NSW, el Hunter Environment Lobby y Mt Owen. El objetivo principal del plan es guiar la gestión de la flora y la fauna, y las prácticas de rehabilitación y re-vegetación en Mt Owen. La implementación del plan está supervisada por el grupo asesor.

Los componentes clave que incluye el programa de gestión de la flora y fauna en Mt Owen son:

- asentamiento y gestión de las zonas de conservación de la biodiversidad para compensar los impactos de la minería
- rehabilitación progresiva de las zonas afectadas para recuperar el bosque autóctono
- implementación de técnicas especializadas de gestión de flora y fauna
- programa comprensivo de monitorización de flora y fauna
- programa de investigación continuado de restauración del bosque autóctono en coordinación con el Centro para la Restauración del Ecosistema Sostenible perteneciente a la Universidad de Newcastle.

Las medidas de gestión especializada se están utilizando en Mt Owen para minimizar los impactos sobre la fauna local durante el proceso de aclarado y para fomentar la regeneración de la vegetación nativa indígena en las zonas diseñadas de rehabilitación y conservación. Estas medidas incluyen:

- Se ha planeado realizar la fase de aclarado tan próxima como se pueda a la zona de actuación minera.
- El aclarado está temporalmente calculado para evitar los ciclos de reproducción de las especies relevantes de fauna amenazadas, donde sea posible.
- Los estudios sobre la fauna se llevan a cabo con anterioridad a la obtención de un permiso de aclarado.
- Se identifican y se marcan los árboles afectados con anterioridad al aclarado. Los árboles del hábitat identificados sólo se retiran después de que un asesor con experiencia en fauna inspeccione y elimine la vegetación próxima, para determinar si se encuentran en el entorno especies nativas de fauna.
- Para incrementar la retirada del hábitat de nidos y ramas de una serie de animales, se han colocado cajas con nidos/ramas diseñados para especies determinadas en lugares altos y en estructuras apropiadas para dichas especies en zonas de rehabilitación y conservación.
- Los restos vegetales del suelo y la madera muerta de los árboles se recogen para su redistribución en las zonas de rehabilitación y de conservación, cuando se posible. Cualquier material restante se entierra con mantillo para su uso en la rehabilitación.
- Para maximizar el uso de las semillas y la propagación del material procedente de hierbas, plantas, arbustos y árboles autóctonos existentes, se recogen las semillas útiles recuperables con anterioridad a la limpieza para su uso en los programas de re-vegetación en Mt Owen.
- Tras la vegetación se retira la cubierta del suelo y se mezcla con la vegetación cubierta de mantillo para su posterior uso en los proyectos de rehabilitación y plantado.
- Cuando sea posible, se ha de coordinar la retirada del suelo con las operaciones en la cantera para asegurar una mínima manipulación y almacenaje. Los suelos boscosos contienen una importante reserva de semillas de plantas indígenas y microflora terrestre, que ayudarán a la preservación del material genético local y al restablecimiento de la gama y mezcla de especies similar a la vegetación original en las áreas de rehabilitación.
- La rehabilitación de las zonas dañadas se lleva a cabo mediante especies endémicas.
- Las reservas domésticas son excluidas de las zonas de rehabilitación y conservación.

Mt Owen está desarrollando técnicas únicas de rehabilitación mediante su programa continuado de monitorización e investigación. Las zonas con restos de vegetación alrededor del área minera se utilizan como lugares de control para su comparación con las zonas en rehabilitación. La información obtenida de esta monitorización se utiliza para guiar y mejorar continuamente los esfuerzos de rehabilitación en la mina.

La monitorización e investigación también se llevan a cabo en tierras adyacentes de barrera para ayudar con la restauración de Ravensworth State Forest y otras zonas de conservación de la biodiversidad. Estas zonas de conservación están contiguas a las de rehabilitación y proporcionarán una importante fuente de recogida de plantas y animales nativos.

La estrategia más significativa propuesta para mitigar la falta de comunidades vegetales regionalmente importantes como resultado de la actividad de Mt Owen es la conservación de las comunidades de bosque mediante una Estrategia para la Compensación de la Biodiversidad (BOS). Esta estrategia consiste en la rehabilitación y recuperación de los prados y de los restos de bosque adyacentes a las actuales zonas vegetales, lo que realzará la viabilidad a largo plazo del RSF y alrededores. Junto con las zonas existentes de conservación de Mt Owen y el programa de rehabilitación de la mina, esta estrategia generará un área de bosque autóctono cinco veces mayor que el original existente con anterioridad a la mina.

El programa de Mt Owen para la gestión de la flora y la fauna proporciona protección para el asentamiento de árboles en las zonas en rehabilitación y en el terreno de barrera circundante propiedad de la mina. Las zonas de conservación cercanas a las de rehabilitación de la mina también se van a expandir y destacar mediante intervenciones pro-activas y la restauración de restos dispersos de arbolado y prados, para proporcionar unas comunidades de vegetación similares y unas oportunidades para la dispersión de la flora y la fauna por las zonas en rehabilitación. El objetivo a corto plazo es la conservación de la flora y fauna existentes en las áreas de conservación mediante una gestión efectiva, mientras se establecen nuevas zonas que proporcionen un sistema de auto-sustentación a largo plazo. El objetivo a largo plazo es proporcionar una reserva de auto-sustentación de la flora y la fauna con espacio suficiente para que se pueda desarrollar la diversidad necesaria, mientras se crean los corredores de unión entre los diversos paisajes a integrar en Hunter Valley. Esta reserva formará un núcleo central que se podrá conectar mediante corredores con los otros restos de vegetación existente en el valle y laderas adyacentes.



La monitorización de la flora y fauna se lleva a cabo en las zonas de rehabilitación y los terrenos de barrera contiguos a la mina

Fuente: Xstrata Coal



4.0 OPERACIONES

4.1 Consultas durante las operaciones en la mina

El objetivo principal del compromiso durante la fase de operaciones mineras debe ser la participación de la comunidad y los reguladores en el desarrollo y la revisión de los planes de rehabilitación, además de fomentar la capacidad de la comunidad local para asistir a los trabajos de rehabilitación, cuando las circunstancias lo requieran. En particular, las actividades como la recolección y almacenamiento de semillas, el cultivo de plantas en vivero y el control sobre especies invasoras de plantas y animales pueden proporcionar una valiosa referencia para el compromiso de la comunidad y un desarrollo local de la actividad empresarial.

Muchas de las especies de plantas de Australia son difíciles de propagar y los tratamientos necesarios para asegurar su adecuada germinación varían enormemente. Los intentos a pequeña escala de grupos e individuos pueden ayudar con éxito a la propagación de las especies recalcitrantes.

4.2 Caracterización de los materiales

Los materiales de una mina incluyen la mena, los desechos de roca benignos y reactivos, las escorias, los materiales de cubierta y los suelos. Como quedó resumido en la sección 3.3.1 de este manual, la caracterización de los materiales de una mina debe empezar de forma temprana en la fase de exploración del proyecto minero y continuar a lo largo de las fases operativas como base para una planificación minera a largo plazo.

Poder limitar el impacto ambiental del terreno afectado por los procesos de minería y conseguir la re-vegetación sostenible del lugar depende de la capacidad de los materiales en la superficie reconstruida para permitir el crecimiento de las plantas, en términos de capacidad retentiva del agua, mineralogía y geoquímica, y atributos microbiológicos.

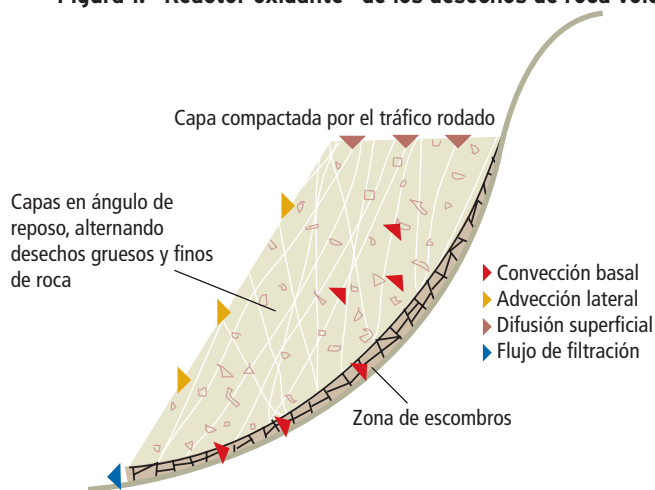
4.3 Manipulación de los materiales

Típicamente, los estratos que recubren la capa subterránea de agua han estado expuestos al oxígeno atmosférico y están oxidados, mientras que los estratos inferiores a la capa freática no han recibido oxígeno y son propensos a la oxidación en contacto con la atmósfera. El halo mineralizado que circunda un filón de mena típicamente contiene sulfatos debajo del nivel freático, los cuales se oxidarán en contacto con el agua, dando como resultado una caída en el pH y como resultado una disolución de los metales.

Los montones de residuos se construyen típicamente con camiones, bien mediante el volcado de la carga sobre llano o mediante el volcado trasero sobre la cresta de la ladera. El volcado trasero sobre la cresta da como resultado la formación de un "reactor oxidante" (Figura1) con una zona de escombros en la base. Dicha zona se forma con el rodamiento de grandes rocas redondeadas hasta la punta de la cara de avance de la pila y con las capas alternas de desechos gruesos y finos de roca (en ángulo de reposo de unos 37° sobre la horizontal), que se acumulan sobre la zona de escombros de la base. La zona de escombros de la base proporciona un punto

disponible para la entrada de oxígeno, que fluye ascendente sobre las capas de roca gruesa que se encuentran en ángulo de reposo, y que se difunde por las capas de desechos finos que presentan una superficie más reactiva por unidad de volumen.

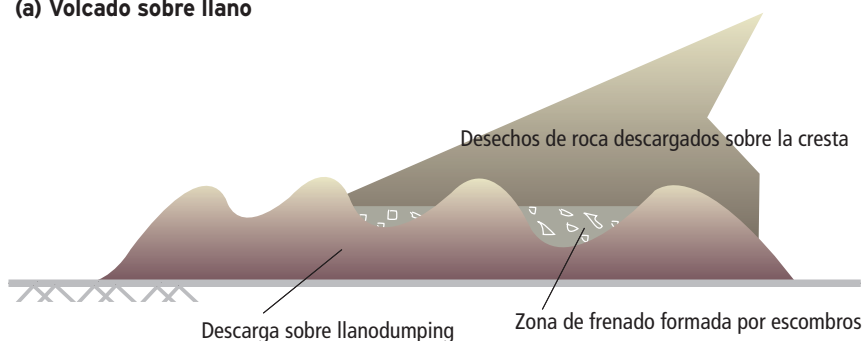
Figura 1: "Reactor oxidante" de los desechos de roca volcados sobre la cresta



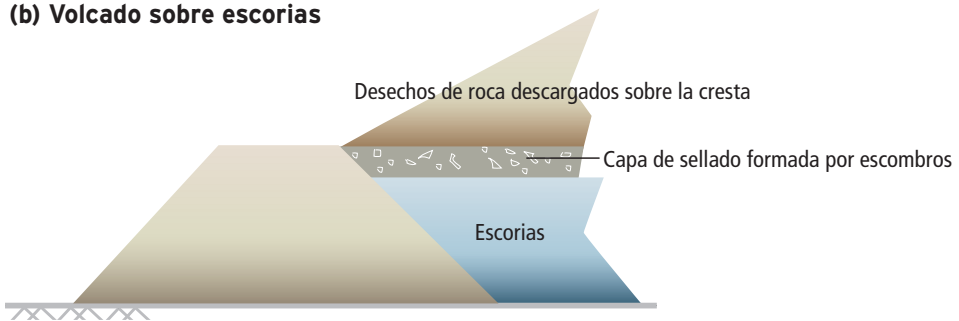
Para limitar la entrada de oxígeno en la pila de desechos, la zona de la base puede frenarse descargando en ella sobre llano antes de descargar sobre la cresta de la ladera, descargando en la cresta sobre las escorias almacenadas o mediante una solución de ingeniería (las Figuras 2(a), (b) y (c), respectivamente).

Figura 2: Medios para frenar la base de la pila de desechos volcados sobre la cresta

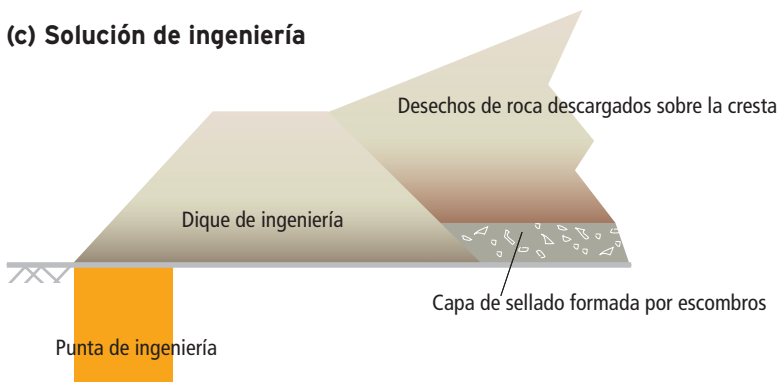
(a) Volcado sobre llano



(b) Volcado sobre escorias

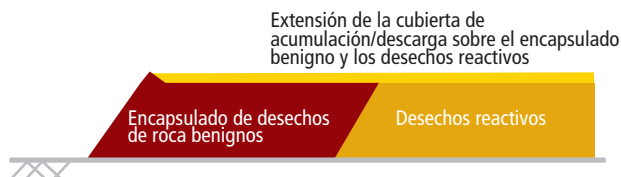


(c) Solución de ingeniería



Los materiales oxidados y benignos que primero se hallan en el minado a tajo abierto (a nivel superficial por encima de la capa freática) deberían emplearse para encapsular los materiales típicamente sulfurosos que aparecen con el avance de la excavación (a profundidad inferior a la capa de agua). Los desechos de roca oxidados deberían utilizarse para construir primero la base y los laterales del depósito donde se contendrán los desechos reactivos. (Figura3).

Figura 3: Encapsulado de desechos reactivos mediante materiales benignos



Es necesaria una caracterización y un presupuesto de los desechos de roca para asegurar que existen suficientes desechos de roca benignos para encapsular los desechos reactivos subsiguientes. El presupuesto y secuenciación de los desechos benignos y oxidados en relación a los reactivos puede mejorarse desarrollando la cantera en una especie de recortes, en lugar de cubrir la huella final de la fosa en una sola operación.

De forma similar, la mena oxidada excavada sobre el nivel freático producirá escorias oxidadas y típicamente benignas, mientras que la mena sulfurosa excavada bajo la capa de agua producirá escorias potencialmente generadoras de ácido. Es difícil evitar el depósito de escorias reactivas

sobre escorias benignas depositadas con anterioridad, a menos que la cantera se desarrolle en una serie de recortes. Se debe prestar especial consideración a asegurar la disponibilidad de material benigno suficiente para cubrir las escorias reactivas.

Los montículos de desechos rocosos y los depósitos de escorias deberán diseñarse y construirse con vistas al diseño final del relieve, que deberá imitar en lo posible el relieve natural, a las texturas superficiales y a los patrones vegetales.

Para más información sobre la gestión de las escorias, véase el manual sobre la *Gestión de las Escorias* de esta colección.

4.4 Equilibrios en los desechos de agua de la mina

4.4.1 Desechos de roca

Un depósito operativo formado por desechos de roca es el que no permite la evaporación desde la superficie natural del terreno (en las regiones áridas o semiáridas la evaporación es varias veces mayor que la lluvia), mientras que sí se muestra permeable a la lluvia (Williams, 2006). Inicialmente, la infiltración de lluvia puede controlarse mediante flujos por aberturas preparadas, pero con el incremento de la humedad en la pila, el flujo continuo comienza a predominar. Una proporción de la lluvia infiltrada se almacenará en los huecos de la pila, aunque si se produce un exceso de infiltración, el agua emergerá por los escapes inferiores hasta la base.

Debido a su escasa conductividad hidráulica, los desechos de roca inicialmente secos acumularán la infiltración de lluvia ligera. Una pila alta de desechos de materiales relativamente secos puede ser capaz de almacenar la infiltración de lluvia de varios años. El frente de humedad progresará por la pila en tanto que se sobrepasa la capacidad de transpiración de los desechos para almacenar agua, lo cual sucede mucho antes de llegar al estado de saturación completo (quizás el 25 por ciento de saturación para desechos rugosos y frescos de roca y hasta un 60 por ciento de saturación para roca más fina y aclimatada). En tanto que el grado de saturación de los poros de los desechos se incrementa, también lo hará el de conductividad hidráulica y la habilidad de circular el agua. Cuanto más tiempo permanezca la pila de desechos sin cubrir, más se humedecerá. Esto ocurrirá más rápidamente cuanto menor sea la altura de la pila y mayor la lluvia. Por último, la pila se humedecerá hasta el punto en que se formen continuos escapes de agua, dando lugar al “avance” de la filtración desde la parte inferior de la pila hasta la base.

Inicialmente, la filtración hacia la base está limitada por la poca conductividad hidráulica de la zona insaturada de la base. Un frente de humedad avanzará hacia abajo, con la ayuda de cualquier camino permeable, aumentando la conductividad hidráulica de la zona insaturada y causando la acumulación de agua subterránea junto a los posibles contaminantes filtrados.

La cantidad de lluvia filtrada en la pila se puede reducir mediante la construcción inclinada de la cima (muy compactada por el tráfico) para evitar el estancamiento y favorecer las escorrentías. Las laderas exteriores poco compactadas de la pila de residuos rocosos deberían construirse con materiales benignos y con el suficiente grosor como para producir que el filtrado y las escorrentías sean limpios.

El agua almacenada en la pila durante su construcción y con anterioridad a ser recubierta continuará filtrándose durante muchos años (Williams y otro, 2006)—quizás durante todo el tiempo en que esté descubierta— aunque la colocación de una cubierta en la cima de la pila permitirá reducir significativamente mayor infiltración. Se ha demostrado que los sistemas de cubiertas de “acumulación/descarga” pueden limitar las filtraciones hasta el uno por ciento de la lluvia media anual, y quizás hasta el cinco por ciento del total en años muy lluviosos (Williams y otro, 2006). El

escape por la punta y la filtración hasta la base (acompañada por contaminantes) disminuirá con el tiempo en tanto que los residuos rocosos drenan y pierden conductividad hidráulica. La filtración deberá cesar con la formación de una humedad residual en la pila que sustituye a la succión del agua por la porosidad de los materiales. Cualquier agua acumulada bajo la pila tenderá a disminuir con el tiempo, finalmente retornando a su elevación original.

En cuanto a las laderas de la pila, no se ha desarrollado ningún sistema sostenible de cubierta de filtración baja, aunque en los trópicos húmedos se han cubierto pilas de residuos rocosos reactivos con geomembranas y, en Pennsylvanian Coalfields, se han cubierto los residuos reactivos del lavado de carbón con unas cubiertas de baja conductividad hidráulica compuestas por cenizas de carbón o cemento. Las laderas de la mayoría de las pilas permanecerán propensas a la infiltración durante la caída de aguaceros fuertes o continuos y, por tanto, es esencial que se construyan utilizando desechos de roca benignos y con suficiente grosor para asegurar que el filtrado y las escorrentías sean limpios.

4.4.2 Escorias

Un almacenamiento de las escorias en la superficie permite que el agua de las mismas y el de la lluvia se infiltren, mojando la base y las paredes de contención (Williams, 2006). El desechado convencional de las escorias como un lodo entrafia el anegado continuo de la superficie de escorias. Mientras que cierta cantidad de agua permanecerá retenida por las escorias, la restante se evaporará desde la balsa de decantación y de las escorias mojadas, o se filtrará hasta la base y las paredes de contención.

La cantidad de filtrado se puede restringir colocando escorias lo más secas posible y quitando eficientemente el agua sobrante.

La deposición de las escorias podría realizarse de forma cíclica entre celdas para mantener unas condiciones de insaturación en la capa sobre la que reposan las escorias y para asegurar que no se produzca saturación en la base.

Inicialmente, la filtración hacia la base está limitada por la poca conductividad hidráulica de la zona insaturada de la base. Un frente húmedo avanza hacia abajo, con la ayuda de cualquier camino permeable, que incrementa la conductividad hidráulica de la zona insaturada causando la acumulación de agua subterránea. Los contaminantes filtrados pueden alcanzar las aguas subterráneas. Las paredes exteriores de contención se construyen típicamente de desechos rocosos, que deberían ser benignos, y con el suficiente grosor como para producir que el filtrado y las escorrentías sean limpios.

El agua acumulada en las escorias durante la operación de almacenamiento continuará filtrándose durante muchos años después de su cierre. La filtración (y el transporte de cualquier contaminante) hasta la base disminuirá con el tiempo en tanto que las escorias desaguan y pierden conductividad. Puesto que la lluvia que cae por las escorrentías no se concentra localmente sobre la superficie de escorias sino que se dispersa hasta terminar evaporándose, la filtración deberá finalmente cesar en los climas áridos o semiáridos, con la formación de una humedad residual retenida en las escorias que sustituye a la succión del agua por la porosidad de los materiales. Cualquier agua subterránea acumulada bajo el recinto de almacenaje de las escorias tenderá a disminuir en los climas secos, para acabar retornando a su elevación original.

Dada la relativamente baja conductividad hidráulica de las escorias, particularmente cuando se insaturan, puede que no sea necesario utilizar una cubierta para limitar la infiltración, puesto que las escorias no vuelven a saturarse con la concentración a largo plazo de agua. Una capa de flujo de humedad en evaporación puede persistir en el interior de las escorias a pesar del humedecimiento regular durante cortos periodos producido por la lluvia. Sin embargo, una cubierta podría ser deseable y necesaria por razones de re-vegetación. Para limitar la erosión debe evitarse el desbordamiento de

la ladera exterior que contiene las escorias.

Para más información sobre la gestión de las escorias, véase el manual sobre la *Gestión de las Escorias* de esta colección.

4.5 Reconstrucción del relieve

La reconstrucción del relieve pretende conseguir, de manera económicamente efectiva, un uso del terreno sostenible tras la minería, a la vez que se gestiona el riesgo de impacto ambiental y se limita la necesidad de mantenimiento continuo. Los relieves pos-mineros deben imitar a los naturales en lo máximo posible.

Las laderas naturales de las colinas se diferencian de la construidas con desechos de roca en un número de aspectos cruciales. Mientras que las laderas de desechos sobre las minas son generalmente construidas y modeladas con un perfil lineal, las laderas naturales tienen generalmente forma cóncava, por lo que tienden a retener los sedimentos de la erosión sobre la ladera, y presentan variedad de ángulos, longitudes y texturas superficiales. Las laderas naturales de las colinas se protegen de la erosión por su recubrimiento rocoso, su consolidada estructura y su vegetación. Los trabajos de rehabilitación con desechos de la minería deben dirigirse a la reconstrucción de las colinas con una distribución de ángulos, dimensiones y vegetación similares a las que había originalmente.

Los principios fluviales y geomorfológicos en el diseño de rehabilitación con desechos mineros, como los empleados en las minas de carbón de Plata y San Juan en Badlands, Nuevo Méjico (BHP Billiton, 2001), deberían utilizarse preferentemente sobre los principios de diseño de ingeniería lineal.

4.6 Cubiertas

Las cubiertas sobre almacenamientos de desechos mineros con superficie superior plana en climas secos como los de Australia se diseñan en primer lugar para limitar la filtración del agua lluvia hacia los desechos subyacentes y, de esta forma, limitar las fugas potencialmente contaminantes provenientes de los desechos mineros. Dada la naturaleza insaturada de los desechos mineros es difícil limitar la entrada de oxígeno en los mismos, aunque una cubierta húmeda proporciona cierta barrera para dicha entrada.

4.6.1 Análogos naturales

En las regiones áridas y semiáridas de Australia, donde se sitúan muchas de nuestras minas, las aguas subterráneas están a gran profundidad, con una zona terrestre superior insaturada y de escasa permeabilidad. Las corrientes son predominantemente efímeras, bajo las cuales subyace una corriente subterránea por medio de un lecho de arena o grava, bajo la cual subyace una zona insaturada que cubre el nivel freático. La base de la corriente subterránea está perfectamente "sellada" por finos sedimentos, por lo que la zona insaturada subyacente recibe agua en cantidad muy limitada, manteniendo así su estado de insaturación y de baja permeabilidad. Si éste no fuera el caso, toda el agua superficial se filtraría rápidamente hasta el nivel freático, que presenta una amplia porosidad para su almacenaje.

Las cubiertas sobre los desechos mineros deben imitar la función de las corrientes efímeras, con una capa de almacenaje en la parte superior, bajo la cual subyace una capa impermeable para limitar la filtración hacia los desechos mineros situados en un nivel inferior. Esto asegurará que permanezcan insaturados y con poca conductividad hidráulica.

4.6.2 Posibles componentes en un sistema de cubierta

Los posibles componentes de un sistema de cubierta para los desechos mineros incluyen, en orden desde la superficie, los siguientes:

Capa superficial: es normalmente un componente clave, que requiere una gran capacidad de almacenamiento de agua y una profundidad suficiente para albergar las raíces de las plantas (mayor a 0.5 metros). Es preferentemente friable, compuesto de actividad biológica y tiene una razonable capacidad para generar nutrientes.

Barrera de capilaridad: puede necesitarse para limitar la penetración de las raíces en la zona hermética subyacente, lo que requiere una escasa penetración del aire (menor al grosor) y una baja capacidad para almacenar agua.

Sello: un componente clave, que requiere de una baja conductividad hidráulica (menor a 10^{-8} metros por segundo) y de una alta penetración de aire (para mantener la saturación).

Barrera de capilaridad: si los desechos mineros son salinos o potencialmente generadores de ácido, para limitar el paso de contaminantes hacia la capa de sellado.

4.6.3 Posibles materiales en una cubierta

Los emplazamientos mineros están a menudo situados en lugares remotos y los materiales de cubierta posibles se encuentran frecuentemente limitados al sustrato disponible en la superficie de la mina, que incluye:

- capa superficial o desechos rocosos oxidados con aporte de fertilizantes para el desarrollo de la vegetación
- para la capa de sellado: limo compactado (auto-cicatrizante), arcilla arenosa, desechos compactados de roca arcillosos, pequeñas escorias benignas compactadas o mezclas compactadas/acuosas de escorias/desechos de roca
- para la capa de capilaridad: desechos de roca finos o rocas finas de cantera .

4.6.4 Tipos de cubiertas

Las cubiertas evolucionaron de la tecnología para forrar el entierro de residuos, con una adopción temprana por parte de la industria minera de las cubiertas a modo de barrera, aunque a diferencia de los forros éstas se encuentran dentro de la "zona activa" (desde centos de milímetros en los climas húmedos hasta varios metros en los climas áridos o helados/en deshielo). Las primeras cubiertas se apilaban para promover la escorrentía de las lluvias y minimizar la infiltración. Estaban formadas típicamente por una capa impermeable de terreno arcilloso de unos 0.5 metros de grosor sobre una delgada capa de terreno de unos 0.3 metros apropiada para el crecimiento de la hierba pero no para la mayoría de los tipos de vegetación. Las cubiertas de barrera son más apropiadas para los climas que son predominantemente húmedos durante todo el año. Presentan un peor comportamiento en los climas estacionales y son ineficaces en los áridos o semiáridos. En los climas áridos, la re-vegetación sería escasa y la capa impermeable sería propensa al agrietamiento y a la penetración de las raíces. Así, es probable que un sello de arcilla compactada sobre escorias o desechos finos rocosos de ciertos tipos se muestre ineficaz debido a la consolidación continuada. Mientras que las arcillas compactadas pueden proporcionar inicialmente una conductividad hidráulica inferior a 10^{-8} metros por segundo o 300 milímetros al año, el agrietamiento multiplicaría esa cifra por 100, con lo que se rompería el sellado. Otros aspectos son la erosión (por efecto del agua) y la penetración de las raíces (dada la delgadez de la capa para el crecimiento vegetal). Por tanto, es necesaria una clasificación mejor de los materiales para el sellado y una capa para el crecimiento vegetal más gruesa.

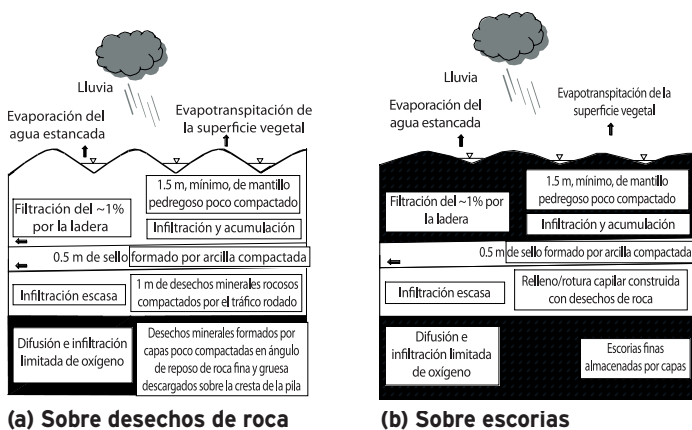
El sistema de cubierta más efectivo y sostenible para desechos mineros en climas estacionales, áridos o semiáridos es un cubierta de acumulación/descarga (Williams y otro, 2006; Figuras 4(a) y (b)), que imita los lechos de las corrientes naturales. El sistema de cubierta de acumulación/descarga está diseñado para almacenar las lluvias de las estaciones húmedas sin verterlas, puesto que eso podría suponer la erosión de la cubierta, y para liberar el agua almacenada durante las estaciones secas mediante la evapotranspiración, sin aumento o disminución de la humedad/sequedad de un año para otro. Una cubierta de acumulación/descarga puede limitar la filtración hasta el uno por ciento de la lluvia media anual (Williams y otro, 2006), eliminando eficazmente el humedecimiento continuado de los desechos de roca subyacentes y los escapes de agua hasta la base.

Las características esenciales de una cubierta de acumulación/descarga son:

- evita las zonas bajas en la superficie de los desechos reactivos en donde la infiltración a través de la cubierta podría estancarse y producir un derrame contaminante
- una capa hermética en la base de la cubierta, de arcilla compactada y humedecida, de 0.5 metros de espesor, para limitar la filtración en caso de rotura en la cubierta de acumulación/descarga que la recubre
- una capa de terreno rocoso, colocada por una descarga en llano, con un mínimo de 1.5 metros de grosor (dependiendo de los patrones de lluvia y de la naturaleza física de los materiales) para acumular y descargar el exceso de lluvia mediante la evapotranspiración
- se remueven y se presionan ligeramente con una excavadora los montículos de tierra descargados para desbaratar los conductos potenciales para el agua, mientras se mantienen las zonas de estancamiento para que quede distribuida el agua superficial
- inicialmente se recubre con mantillo, se fertiliza y se siembra con arbustos y árboles autóctonos; posteriormente a los 12 meses se re-fertiliza y se siembran hierbas para establecer una cubierta vegetal diversa y sostenible que ayude a descargar agua y a mejorar la estética.

Generalmente se necesitan pruebas monitoreadas para desarrollar el sistema de cubierta y la selección de vegetación más apropiados para cada mina en particular. La cubierta de acumulación/descarga es un sistema dinámico que depende en gran medida de la cubierta vegetal.

Figura 4: Sistema de cubierta de acumulación/descarga



Estudio de caso: Sistema de cubierta de acumulación/descarga, mina de oro de Kidston, Queensland

La mina de oro de Kidston estuvo operando en North Queensland entre 1985 y julio de 2001. Durante ese período la mina produjo unas 3.5 millones de onzas de oro a partir de dos canteras a tajo abierto.

El clima de Kidston se caracteriza por tres meses de estación húmeda y nueve meses de estación seca. El promedio anual de lluvia es de 700 milímetros, aunque puede oscilar entre los 500 y los 1500 milímetros, y el promedio anual de evaporación es de unos 2800 milímetros. Si se utilizase como cubierta en Kidston un tipo de barrera repelente de la lluvia sobre las pilas de desechos rocosos, la larga estación seca provocaría la disecación de la cubierta y la muerte de la vegetación. Las posteriores tormentas de verano causarían entonces la erosión y la rotura de la cubierta. El sistema de cubierta por "acumulación y descarga" no es repelente, sino que se basa en el almacenaje de lluvia durante la estación húmeda y su posterior descarga durante la larga estación seca vía evapotranspiración.

A mediados de 1996 en Kidston, se construyó una cubierta de prueba del tipo acumulación/descarga sobre las 23 hectáreas de South Dump, basada en el esquema que se muestra en la Figura 4(a). Sobre la cubierta de prueba se instalaron lisímetros para monitorizar la infiltración, además de sensores de humedad y succión para controlar el nivel de humedad de dicha cubierta. Durante los 10 años de monitorización, la infiltración había sido inferior al uno por ciento de la lluvia anual (aunque las precipitaciones han sido menores que la media, con 550 milímetros al año).



Colocación de mantillo pedregoso



Vegetación predominantemente herbácea de dos años de antigüedad

Las cubiertas de acumulación/descarga se han construido sobre todos los montículos de desechos rocosos de Kidston, con algunas modificaciones. La superficie de los montículos de mantillo pedregoso se alisó con una excavadora ejerciéndose una ligera presión, para desbaratar los conductos potenciales de filtrado por los bordes de cada montículo, para facilitar la re-vegetación (mediante una textura superficial más consistente) y por razones estéticas. Además, primero se repobló el lugar con árboles y arbustos añadiendo un compuesto fertilizante, para asegurar una cubierta adecuada. Doce meses más tarde se esparcieron semillas herbáceas y más fertilizantes.



Árboles y arbustos a los 12 meses (sin hierba)

Árboles y arbustos a los 18 meses - hierbas crecidas

Vegetación a los tres años

4.7 Laderas exteriores al almacenamiento de residuos

La rehabilitación convencional de las laderas exteriores a los montículos de residuos rocosos y depósitos de escorias puede dar como resultado una ladera final de estabilidad geotécnica adecuada, aunque de estabilidad erosiva inadecuada. Otros enfoques alternativos en la creación de laderas estables terminales, en sintonía con sus análogas naturales de la zona, ofrecen el potencial de producir laderas sostenibles de alta estabilidad geotécnica y erosiva, además de una estética mejorada.

Las laderas naturales de las colinas se diferencian de las construidas para recintos de desechos mineros en un número de aspectos cruciales:

- mientras que las laderas de residuos mineros son generalmente construidas y modeladas con un perfil lineal, las laderas naturales tienen generalmente forma cóncava
- su recubrimiento rocoso, consolidada estructura y vegetación es lo que preserva a las laderas naturales del paso del tiempo
- las laderas de residuos mineros se cubren convencionalmente con mantillo fino de fácil erosionabilidad y con una capa de vegetación que lo cubre, lo cual puede resultar una limitada resistencia a la erosión.

4.7.1 Restringir la erosión de las laderas exteriores

En climas estacionales, áridos y semiáridos que no disponen de suficiente cubierta vegetal para limitar la erosión, las laderas exteriores de los depósitos de residuos pueden necesitar una protección adicional contra la erosión. Ésta puede ser la inclusión de una cubierta superficial de desechos rocosos benignos de grueso tamaño, aunque se pueden mezclar con algunos finos para incrementar la retención de agua y mejorar las condiciones de crecimiento para cierta re-vegetación.

Se deben construir marcados cauces recubiertos por bastantes rocas para dirigir cualquier escorrentía y se deben evitar los desagües del contorno que concentran el flujo y generalmente agravan la erosión. Las últimas laderas en ángulo de reposo, que limitan su costo de construcción, pueden situarse en la parte más alta, dado que quedan disimuladas por los contundentes perfiles tridimensionales de la ladera que incorpora perfiles cóncavos. Los perfiles de ladera cóncavos, que imitan las laderas naturales, restringen la pérdida de sedimentos de las mismas. Las pruebas monitoreadas son necesarias para desarrollar los tratamientos de ladera más apropiados para cada mina en particular.

4.8 Gestión de la capa superficial

Dependiendo de sus constituyentes, las capas superficiales pueden cumplir un número de funciones importantes como el aporte de semillas y otros propagadores, la contribución de microorganismos beneficiosos, el aporte de nutrientes, la rápida evolución de la cubierta vegetal y la mejora de los constituyentes adversos que se encuentran en los desechos mineros subyacentes.

La mayoría de los suelos superficiales presentan menos limitaciones al crecimiento de las plantas en comparación con los materiales formados por desechos mineros, así que el costo adicional de la manipulación de las capas superficiales queda compensado generalmente por un mayor éxito en el desarrollo de una cubierta vegetal. En general, la capa superficial deberá conservarse y emplearse en el programa de rehabilitación cuando el material de sobrecarga o las escorias no puedan albergar el deseado uso pos-minero para el terreno.

4.8.1 Manipulación de la capa superficial

Un plan para la manipulación de la capa superficial especifica las fuentes de obtención, la profundidad hasta la que se sitúa, volúmenes, equipo necesario para la manipulación, profundidad de colocación y tratamiento de continuación (como la escarificación anterior a la siembra, la realización de cortes profundos). Los horizontes subyacentes a la superficie de algunos suelos poseen características indeseables como una alta salinidad y sodicidad, una acidez extrema y toxicidad asociada al aluminio, o deficiencias de calcio para muchas plantas. Generalmente, es preferible retirar y sustituir los horizontes por separado (doble retirada) para asegurar que el horizonte con contenido en nutrientes, microorganismos y semillas se vuelve a situar en la superficie.

La totalidad de la capa superficial, de los desechos de rocas o las escorias dependerán de tales factores como la vegetación prevista, la cantidad y calidad disponible de suelo superficial y suelo subyacente, y la naturaleza del material a recubrir. Un principio general es que la zona construida para albergar las raíces debe tener suficiente agua disponible como para mantener la vegetación durante la estación seca. Esto puede lograrse bien incrementando la profundidad de la capa repuesta o, si es posible, utilizando otros materiales con capacidad alta de almacenamiento.

Si las pruebas físicas y químicas muestran que el material subyacente no presenta grandes limitaciones para el crecimiento de las raíces, una delgada capa superficial de tan sólo 50 milímetros puede permitir albergar la vegetación mediante un entorno favorable a la germinación de las semillas, la filtración de agua y el aporte de nutrientes y microorganismos. Además, la capa superficial puede ser una importante fuente de semillas cuando tenemos como objetivo el regreso a los ecosistemas autóctonos.

Cuando el material subyacente presenta características adversas para el crecimiento de las raíces, la profundidad de la capa superficial necesaria irá en función de la naturaleza y severidad de dichos materiales adversos. La colocación de una capa superficial de 100 a 200 milímetros sobre unos desechos salinos o sódicos proporcionará un resultado satisfactorio para la adaptación de las especies autóctonas o de los pastos. Sin embargo, donde existe una peor penetración de las raíces sobre los desechos, se puede producir una temprana muerte de la vegetación provocada por la falta de agua durante los períodos secos. Además, si la conductividad hidráulica del material subyacente es baja, la ascensión de la sal hasta la capa superior del suelo puede reducir significativamente los efectos beneficiosos derivados de la

instalación de la capa fértil. Se producirá menor migración ascendente de la sal cuando el material subyacente presenta una moderada conductividad hidráulica. En los casos en que se disponga de desechos sulfurosos, estos deberán situarse en lo más profundo de la pila y bien alejados de la zona de raíces.

La capa superficial se debe trasladar y reubicar con gran cuidado. Tanto la naturaleza de la maquinaria utilizada como la humedad del suelo influyen en el grado de compactación y descomposición estructural del suelo que se puede producir durante estos procedimientos. El uso combinado de una máquina excavadora, una pala cargadora y un camión para la retirada, transporte y colocación del suelo es la mejor combinación para reducir la compactación. Para muchos suelos superficiales, cuando están húmedos, el uso de un rascador cargado puede incrementar la densidad del material por encima de los valores críticos para el crecimiento de las raíces. Los ensayos sobre el terreno y la investigación pueden ser necesarios para afinar los parámetros, como la profundidad óptima para la recogida y colocación del suelo, ya que ésta puede variar dependiendo de los tipos de semillas y de terreno.

4.8.2 Preservación de la fertilidad del suelo y de la biota

En los casos en que el objetivo es el restablecimiento de las especies nativas, debe retirarse una ligera capa de la superficie antes de desbastar el suelo a más profundidad. Esto se debe a que la mayoría de las semillas autóctonas se concentran en los primeros 50 milímetros del perfil terrestre. Como el nivel máximo de profundidad del que estas especies pueden emerger varía desde los 30 hasta los 100 milímetros, el desbastado y la redistribución de una capa superficial superior a los 100 milímetros podrían provocar la pérdida potencial de germinación, ya que las semillas se diluirían y tendrían dificultad para emerger a esa profundidad.

Durante las operaciones de rehabilitación es importante que la capa superficial se maneje de manera que el banco de semillas pueda conservar su diversidad y se maximice la instalación de la vegetación tras la redistribución del terreno. Como consideraciones específicas se incluye:

- recoger el terreno superficial en una época del año en que el banco de semillas sea mayor
- antes de comenzar la actividad minera, tener en cuenta los efectos de la quema de vegetación y si esto puede influenciar la supervivencia de las semillas o la germinabilidad
- redistribuir el suelo directamente sobre una zona preparada para la rehabilitación, cuando sea posible
- cuando la cantidad de capa superficial es limitada, es preferible esparcirla ligeramente o por franjas
- cualquier consideración sobre el movimiento de terrenos, como la escarificación para “grabar” el suelo y reducir la propensión a ser arrastrado por erosión—se tiene que tener cuidado de no diluir la capa superficial con los materiales de desecho y de escarificar de lado a lado de la ladera y no en vertical
- la superficie final del suelo debe estar frescamente distribuida y disponible para la siembra, si es éste el paso siguiente.

Los suelos cuidadosamente tratados también proporcionan un aporte de organismos beneficiosos para la tierra que si se pierden son difíciles de reponer. La capa superficial también contiene un conjunto de nutrientes y rastros de elementos esenciales para el crecimiento vegetal que no están disponibles en igual medida en las capas más profundas del terreno.

Idealmente, la capa superficial no debe apilarse. Sin embargo, esto no es siempre posible puesto que en la minería a menudo se necesita amontonar el terreno junto a la zona de actividad. Las reservas se deben construir para minimizar el deterioro de semillas, nutrientes y microorganismos, evitando la recogida de suelo saturado o mojado de lluvia (que puede provocar su descomposición) y creando montículos de menor altura (de uno a tres metros). Se debe minimizar la duración del amontonado, Puesto que períodos mayores a seis o doce meses pueden causar la degradación estructural y la muerte de las semillas y los microorganismos, especialmente cuando el contenido de humedad en el suelo el alto. Se debe separar por separado el material superficial y el material interno. La siembra de las reservas de terreno con una mezcla de hierbas/leguminosas u otras especies nativas fijadoras del nitrógeno ayudará al control de la erosión y a reducir la pérdida de microorganismos beneficiosos para el suelo.

4.8.3 Tratamientos de la capa superficial

Para suelos propensos a la dispersión o a la generación de ácido, se requiere el empleo de correctores como el yeso o el limo. En algunos casos puede ser necesaria la inoculación con microorganismos simbióticos como los fijadores de nitrógeno y los micorrizales. Normalmente será necesaria la realización de cortes a lo largo del contorno para facilitar la penetración de las raíces por el compactado material de desecho y para reducir la pérdida de semillas.

En la mayoría de los casos también se requerirá de una fertilización para sustituir las pérdidas en el banco de nutrientes durante el proceso de retirada de la vegetación y minería. Es esencial la planificación cuidadosa de los tipos y métodos de aplicación de los macro- y micro-nutrientes, basada en unos estudios detallados de caracterización del suelo y en los objetivos de la rehabilitación. Los fertilizantes inorgánicos son los más utilizados, sin embargo los orgánicos como el estiércol o el mantillo vegetal pueden ser alternativas económicas siempre que no se introduzcan malas hierbas o altas concentraciones de metales. Una visión general detallada de cómo gestionar las limitaciones químicas en el crecimiento vegetal (como las deficiencias y toxicidad de los nutrientes) la podemos encontrar en Bell (2002).

Estudio de caso: Alcoa World Alumina Australia

Cuando el suelo contenga una fuente viable de semillas autóctonas, éste deberá conservarse para su reutilización acabada la minería. Con esto no sólo se obtiene una fuente de vegetación económica, sino que también se ayuda a asegurar su implantación en relativa abundancia y densidad similar a la pre-minera, y promueve el asentamiento de especies cuyas semillas puedan ser difíciles de obtener o de germinar.



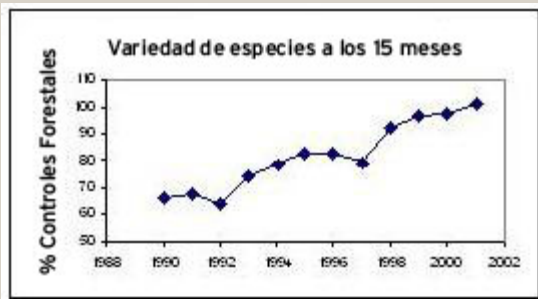
Desbastado del suelo



Redistribución del suelo

El programa de rehabilitación de una mina de bauxita llevado a cabo por Alcoa World Alumina Australia en el bosque de eucaliptos jarrah del suroeste de Australia es un ejemplo excelente de cómo la conservación del banco de semillas del suelo puede realzar significativamente la diversidad botánica de la comunidad vegetal pos-minera.

Una vez retirada la vegetación, se recoge la primera capa de suelo de unos 150 milímetros, que contiene la mayoría de las semillas y nutrientes, para su posterior almacenamiento y redistribución. Según han mostrado las investigaciones la mayoría de las especies autóctonas de plantas (el 72 por ciento) sobre las zonas rehabilitadas provienen de las semillas almacenadas en la capa superficial del suelo. Las pruebas realizadas han demostrado la importancia de distribuir directamente el suelo fértil en contraste con la acumulación de tierra en reservas. Se ha podido observar que el daño asociado a la distribución directa del suelo se calcula en la pérdida de menos del 50 por ciento de las semillas existentes en el bosque antes de la minería; en contraste, el amontonamiento causa una pérdida del 80 al 90 por ciento. Otros aspectos, tales como el grosor de la capa de suelo distribuida, la estación en la que se manipula el terreno y el tiempo de la siembra, también son importantes. Las semillas no sobrevivirán en caso de enterrarse a demasiada profundidad y persisten mejor cuando el suelo se remueve durante la estación seca. También, el asentamiento de las plantas a partir su siembra es mayor cuando las semillas se esparcen sobre una superficie recién removida. Todo unido, el uso combinado del suelo recién recogido, la siembra y la plantación de especies "recalcitrantes" ha dado como resultado en 15 meses La existencia de especies de plantas en número igual a las registradas en zonas de bosque no afectado por la minería de superficie equivalente.



Para más información, ver www.alcoa.com.au



Mina rehabilitada de bauxita con dos años de antigüedad

4.9 Asentamiento de las comunidades vegetales

Las técnicas empleadas para el asentamiento de la vegetación están diseñadas para cumplir con los objetivos de rehabilitación a largo plazo y con los criterios de terminación desarrollados en conjunto con las partes interesadas como parte del plan de cierre de la explotación. Los objetivos se diseñan para establecer los usos particulares acordados para el terreno, siendo los más comunes la conservación de la vegetación autóctona, la protección de la calidad del agua, los pastizales, la producción de madera y el ocio. De vez en cuando, se establece el objetivo de desarrollar múltiples usos compatibles.

4.9.1 Efectos de la vegetación sobre la erosión

En general, el asentamiento de vegetación sobre zonas de ladera se realiza con la intención de reducir la erosión, al disminuir las escorrentías y el desplazamiento de sedimentos. El grado en que puede la vegetación hacer cumplir esas expectativas está determinado por ciertos factores entre los que se incluye el clima, el tipo de vegetación y las propiedades del suelo.

La vegetación puede proporcionar grandes incrementos en la infiltración mediante la protección del impacto que la lluvia ejerce sobre la superficie (una causa de la impermeabilización), mediante la reducción del contenido de agua en el suelo, por las mejoras sobre la estabilidad estructural del suelo y por la creación de macroporos estables en el suelo (Loch y Orange, 1997; Loch, 2000a, 2000b). La protección de la superficie está ampliamente asociada a la cubierta de contacto (cubierta en contacto con el suelo, que cubre la superficie), considerando menos efectiva la canopea o dosel forestal (sobre la superficie del suelo) cuanto más alta ésta se encuentre. Los cambios en la estructura del suelo y la creación de macroporos estables dependen del grado de retorno al suelo de la materia orgánica y de la actividad de las raíces.

Algunas comunidades vegetales (típicamente aquellas con un componente significativo de hierba) desarrollan altos niveles de cubierta de contacto. En comparación, las comunidades vegetales dominadas por árboles y arbustos presentan mucho menor grado de cubierta de contacto y son susceptibles a la erosión durante su asentamiento inicial.

En la planificación de una rehabilitación es importante identificar si la vegetación es un factor principal para controlar la erosión y, si es así, determinar qué aspectos de dicha vegetación son esenciales para la estabilización de las laderas y a qué etapa en el proceso. Si la rehabilitación se basa en la vegetación para el control de la erosión, entonces existe típicamente una inicial "ventana de riesgo" que deberá cerrarse lo más pronto posible (Carroll y otro, 2000). En ese caso, las especies como las hierbas que proporcionan una rápida cubierta inicial pueden ser cruciales, también en la estabilización del terreno tras sucesos como los provocados por el fuego. El crecimiento vigoroso de las hierbas puede entorpecer el asentamiento de los árboles, aunque esto suelen gestionarlo las organizaciones forestales rutinariamente mediante una combinación herbicidas de contacto y/o pre-emergentes. También existe la posibilidad de situar materiales selectivamente que favorezcan bien la hierba y los árboles para conseguir el equilibrio deseado.

En general, un ecosistema equilibrado es el que contiene todas las especies necesarias para prestar un conjunto de servicios en el ecosistema. Los árboles y los arbustos son componentes cruciales en la mayoría de los ecosistemas, pero su contribución al control de la erosión (particularmente en algunas etapas del proceso de rehabilitación) suele ser mínimo.

4.9.2 Control de las malas hierbas

Las malas hierbas pueden competir con las plantas autóctonas locales. Si con los sondeos pre-mineros se identifica la presencia de malas hierbas, debe desarrollarse un programa planificado para el control de este tipo de vegetación. Esto puede implicar el empleo de herbicidas de contacto y/o pre-emergentes a gran escala o en lugares puntuales.

Si las malas hierbas van a suponer un problema, se necesitará un plan de gestión de las hierbas o de la fauna. Los departamentos de agricultura de los gobiernos estatal y regionales son una fuente útil de información para el control de las malas hierbas.

4.9.3 Definición de ecosistema funcional

En términos generales, se considera ecosistema “funcional” aquel que es:

- estable (no sujeto a grandes cotas de erosión)
- efectivo en la retención de agua y nutrientes
- auto-sostenido.

Esta definición debería tratarse con precaución. En algunos casos, las zonas plagadas de malas hierbas cumplirían los criterios anteriores.

En general, es importante que en los objetivos establecidos para la rehabilitación del lugar se identifique el tipo de ecosistema solicitado y quizás algunos de los servicios que se esperan del ecosistema. Por ejemplo, las peticiones pueden incluir un alto nivel de protección contra la erosión o la provisión de comida/refugio para algunas especies concretas de aves o animales. Estas peticiones pueden incluir el deseo de establecer un ecosistema diferente de los que existen en los alrededores.

Lo importante es que los servicios solicitados para el ecosistema deben ser factibles y razonables. Debe prestarse considerable cuidado para evitar la formulación de unas demandas de servicios para el ecosistema demasiado concisos, ya que el plan de objetivos de la comunidad podría resultar disfuncional. Debe evitarse un excesivo énfasis sobre las especies “carismáticas”, ya que éstas especies pueden ser menos importantes para el funcionamiento del ecosistema que otras más crípticas.

Si los objetivos de rehabilitación especifican una comunidad de plantas en particular, los anteriores tres criterios proporcionan una base para determinar la sostenibilidad de la comunidad deseada (funcional a largo plazo). Sin embargo, como las comunidades de plantas son temporal y espacialmente variables, las evaluaciones sobre funcionalidad deben tener en cuenta tal variación.

4.9.4 Asentamiento de la vegetación

Para el asentamiento de una comunidad diversa de vegetación a menudo se requiere una combinación de métodos. Entre ellos podemos incluir la distribución directa del suelo, la siembra, la hidrosiembra, la plantación de brotes, la cultura de tejidos, el trasplante/transferencia de hábitat y la recolonización natural. En el plan de rehabilitación tiene que estar desarrollada la combinación seleccionada de métodos, aunque tengan que hacerse ciertos retoques durante las operaciones de rehabilitación como resultado de las pruebas y errores encontrados.

Podría ser necesario llevar a cabo las operaciones de re-vegetación en varias etapas. Por ejemplo, puede necesitarse el rápido asentamiento de las hierbas para controlar la erosión, mientras que el transplante de los brotes y plantas puede realizarse más tarde. Sin embargo, la hierba puede competir con las especies autóctonas, especialmente con las introducidas mediante siembra directa. Se pueden utilizar hierbas estériles si dichas especies no van a formar parte del uso final del suelo. Habrá que tener cuidado en utilizar una combinación óptima de métodos para asegurar que los objetivos de la rehabilitación se cumplen.

Siembra

La siembra se emplea ampliamente en la minería australiana para asentar tanto pastos como comunidades autóctonas de vegetación. A menudo es la forma más económica de introducir un conjunto de especies vegetales sobre una zona amplia; sin embargo puede depender del azar si no está cuidadosamente planeada e implementada, o si la siembra se ve seguida de unas condiciones meteorológicas imprevistas. Cuando se siembra se tienen que tener en cuenta un número de aspectos importantes para incrementar las posibilidades de éxito.

Aporte de semillas: Las semillas pueden recolectarse o comprarse, es esencial un control de calidad sobre todas las fases del proceso. La planificación para la recogida de semillas autóctonas debe comenzar con al menos dos años de antelación a la siembra de las mismas, para que se pueda identificar los volúmenes que se necesitan y las fuentes de recolección. Cuando se pueda, las semillas deben recogerse localmente, porque estarán mejor adaptadas a las condiciones y mantendrán la integridad genética de las procedencias locales. Tras la recolección habrá que limpiar y almacenar las semillas en condiciones que puedan mantener la máxima viabilidad durante este tiempo y reducir el daño de plagas y hongos.

Tratamiento de las semillas: Con anterioridad a su plantación, es posible que las semillas de muchas especies necesiten tratamiento para iniciar su germinación. Dentro de estos métodos se puede incluir el tratamiento con calor, la escarificación y la exposición a humo o a agua ahumada. Dentro de las fuentes de información sobre qué métodos podrían necesitarse se incluyen los proveedores de semillas, el personal de investigación y las referencias clave (como Floradata, 2001).

En las zonas donde la lluvia es impredecible, podría ser prudente no tratar todas las semillas para poder disponer de algunas en los próximos años. Otras semillas podrían necesitar la inoculación con rizobio o presencia de cal.

Sucesión de ecosistemas: Si el objetivo es establecer un ecosistema autóctono, diverso y sostenible, entonces se tienen que considerar los aspectos relativos a la evolución de los ecosistemas. Se deben incluir en la mezcla de semillas las especies pioneras que colonizan rápidamente las zonas afectadas; sin embargo, también deberían asentarse ya las especies propias de las etapas posteriores si la experiencia nos indica que eso es factible. La relativa abundancia de ciertas especies cambiará en cuanto las colonizadoras vayan dando paso a las especies más longevas o aquellas que colonizaron después se conviertan proporcionalmente en dominantes. La excesiva cantidad de algunas especies colonizadoras tempranas puede reducir la diversidad general por sobrecompetir con otras especies.

Tasa de siembra: La información que necesitamos para determinar la tasa de siembra puede no siempre necesitar pruebas en el invernadero y sobre el terreno. Las pruebas sobre la viabilidad de las semillas y la germinación pueden ayudar a determinar la tasa necesaria para conseguir una deseada densidad de plantas; sin embargo, se tendrá que considerar la mortalidad de los brotes jóvenes, que puede ser alta, dependiendo de las

lluvias posteriores. Cuando la protección contra la erosión sea un objetivo esencial, serán necesarias mayores tasas de siembra de especies de cubierta terrestre como las hierbas.

Distribución de las semillas: Los métodos concretos de esparcimiento de semillas dependerán en parte de la mano de obra y equipamiento disponibles. Podemos incluir el reparto manual, con helicóptero, con esparcidor de semillas agrícola o la escavadora para remover la tierra (así se asegura que las semillas se depositan sobre una superficie recién movida y sin costra). Es importante asegurarse de que cada especie se esparce en su proporción seleccionada. Algunos métodos mecánicos no distribuyen correctamente ciertos tipos de semillas.

Tiempo de siembra: El tiempo de la siembra es esencial y puede variar significativamente dependiendo de las condiciones climáticas locales. Normalmente, la mejor época para la siembra es la anterior a la de unas lluvias fiables, sin embargo, la lluvia es difícil de prever en gran parte de Australia. Un reciente estudio realizado por Alcoa (Ward y otro, 1996) ha demostrado la importancia de esparcir las semillas sobre suelo recién movido, incluso si no se esperan lluvias fiables en varios meses.

Distribución de la vegetación: En muchas comunidades de plantas, como los brezales, muchas plantas no sueltan sus semillas con facilidad. Tendrán entonces que ser reintroducidas recogiendo la vegetación de las zonas clareadas para la minería y devolviéndolas directamente a las nuevas zonas en rehabilitación donde podrán soltar sus semillas y dar protección contra la erosión.

Es muy importante que la rehabilitación sean monitoreadas dada la incertidumbre que existe en relación a muchos aspectos de la siembra. La monitorización proporcionará la información necesaria para conseguir mejoras continuas en relación con asentamiento de una comunidad diversa de plantas.

Hidrosiembra

Aunque es normalmente más costosa que la siembra convencional, la hidrosiembra es necesaria algunas veces para introducir vegetación sobre laderas escarpadas, bancales y paredes de canteras. Normalmente la realiza un contratista utilizando una hidrosembradora que bombea una pasta compuesta por semillas, mantillo, agente aglutinante y agua. Para una hidrosiembra correcta es necesaria la selección apropiada de especies en su correcta proporción y la optimización de las tasas de mezcla y de aplicación.

Plantación de los brotes

El plantado manual de los brotes presenta ventajas y desventajas sobre la siembra directa. Las ventajas incluyen la menor pérdida de semillas, mayor precisión en la densidad del platel, mejores tasas de supervivencia (en algunos aunque no en todos los casos) y normalmente mejor supervivencia cuando la competencia de las malas hierbas supone un problema. Cuando el crecimiento rápido es importante (por ejemplo cuando la reforestación uno de los objetivos a largo plazo de la rehabilitación), la plantación de semilleros puede ser más apropiada que la siembra directa.

Las desventajas incluyen el mayor coste asociado al mantenimiento de un vivero (o a la compra de plántulas de un vivero) y los costos laborales asociados a la plantación manual. Muchas empresas utilizan una combinación de siembra y plantación, dependiendo de las especies a introducir.

Para el éxito de la rehabilitación mediante planteles es importante la procedencia local de las plantas, la edad y el tamaño de los brotes en el momento de la plantación, la preparación del terreno, el método de plantado y el momento del plantado en relación con las condiciones climáticas. Es esencial la preparación efectiva del terreno, incluido el control de las malas hierbas.

Se debe prestar atención a lo siguiente:

- si utilizar herramientas o máquinas para la plantación
- disponibilidad de agua para las plantas (por ejemplo plantando los brotes en el fondo de los surcos hacia los cuales se dirigirá la escasa lluvia)
- si proporcionar agua a las plantas mediante el riego físico o mediante un sistema de goteo (el riego raramente se produce en los grandes proyectos de rehabilitación debido a los prohibitivos costos y a veces a la escasez de agua; sin embargo, puede tener un papel en zonas pequeñas donde, de lo contrario, el asentamiento sería extremadamente difícil)
- es probable que suponga un problema la plantación de brotes en lugares anegados
- proporcionar protección contra la competencia de las malas hierbas, como rociándolas localmente
- proporcionando la cantidad y el tipo correctos de fertilizante
- proporcionando protección contra el ganado, los herbívoros asilvestrados y los mamíferos autóctonos
- inoculando con microbios simbióticos.

El uso de planteles para incrementar la diversidad botánica puede proporcionar buenas oportunidades para involucrar a los grupos de la comunidad, como las escuelas, los aborígenes locales o los grupos ecologistas. Sin embargo, esta actividad valora dos aspectos: la seguridad de los participantes y la calidad de su trabajo. Los riesgos asociados al traslado de las plantas, terrenos inestables, el calor, la exposición al sol y otros peligros se deben identificar y calcular antes de permitir el acceso a personas no relacionadas con la minería. También se debe tener cuidado en asegurar que el trabajo cumple con los estándares de calidad que se pretenden para el lugar.

Estudio de caso: Mina de manganeso de GEMCO, Groote Eylandt, Northern Territory

Groote Eylandt Mining Company (GEMCO) extrae manganeso de diferentes arrendamientos en la llanura de la costa occidental de Groote Eylandt. La isla tiene una superficie de 2260 kilómetros cuadrados y es propiedad del pueblo aborigen de los Anindilyakwa. La mina se sitúa en una región de Australia donde el conocimiento



sobre las especies de plantas es limitado y el éxito de la rehabilitación puede ser complicado. La compañía por tanto esperaba que los Propietarios Tradicionales ayudasen a la recuperación del terreno hasta su apariencia original. En 1997, GEMCO implantó un programa de empleo y de formación para el pueblo Anidilyakwa.

La estrategia ahora consta de 28 personas encargados de la mayoría de las tareas de rehabilitación del lugar, incluido la recolección de semillas. Esta oportunidad de trabajo les

proporciona las habilidades para desempeñar una carrera con la empresa, o con la industria minera o en la comunidad local.

La rehabilitación de la mina a tajo abierto comenzó con la remodelación del relieve, seguido de un doble desbastado, la devolución del subsuelo, del suelo fresco y la realización de cortes hasta los 1.4 metros para evitar la compactación. La incorporación de la vegetación abarcaba el empleo de semillas y brotes diseñados para acoger al mayor número de plantas, en la densidad más próxima a la que se encontraban los bosques cercanos análogos. La localización de la mina en una isla implica que es importante utilizar las semillas recogidas en la misma zona para todo el trabajo de re-vegetación, puesto que las plantas de esta procedencia están mejor adaptadas a las condiciones locales.

Se recogieron 25 especies de árboles locales y arbustos del arrendamiento para su plantación directa o para el cultivo de brotes y su plantación en la estación húmeda. Las cantidades de semillas a recoger en cada estación se calcularon partiendo de estudios previos y lugares disponibles, además GEMCO confió en el conocimiento



de sus empleados indígenas para localizar las semillas y determinar el momento oportuno para su recogida en cada zona.

Los miembros del equipo han incorporado esta información en el GIS para asegurar que este conocimiento se encuentre disponible para futuras ocasiones. Las semillas se recogen en la mayoría del año utilizando recolectores, a mano o mediante plataformas elevadas

para los árboles más altos. Todas las semillas se limpian para quitar las cáscaras, las brozas, la pulpa y otros materiales innecesarios que puedan inhibir la germinación.

Después de la limpieza y el secado de las semillas, se registran datos sobre la localización, el peso y la fecha de recogida. Las semillas se tratan con dióxido de carbono para reducir el ataque de los insectos y se almacenan herméticamente. Las semillas recién empaquetadas se colocan en un almacén acondicionado para maximizar la viabilidad a largo plazo. Se proporciona formación sobre estas actividades para asegurar que se realizan de forma eficiente y profesional. El orgullo que los miembros del equipo sienten por su trabajo lo demuestra la calidad de las semillas limpiadas, que rivalizan con cualquiera de las que se puedan adquirir comercialmente.

La Sección de Rehabilitación de GEMCO también es responsable de toda la siembra directa, de algunos trabajos de preparación del terreno y de la plantación de los brotes durante la temporada de rehabilitación, junto con el control de las malas hierbas por el lugar. Algunos miembros del equipo han progresado hasta la actividad minera principal y están ahora trabajando en los procesos de manipulación del suelo.

Como Propietarios Tradicionales de estas tierras, muestran un gran interés y les produce un gran orgullo ver su tierra volviendo a un estado tan cercano como es posible del original por medio de sus esfuerzos.

Gracias a la utilización del conocimiento tradicional de sus empleados sobre las plantas locales y los cambios estacionales que afectan a la recolección de las semillas en el norte de Australia GEMCO puede cumplir sus necesidades anuales de semillas y comprender que las personas que trabajan para restaurar el bosque prestan más atención a lo que hacen que en cualquier otro trabajo.

La Sección de Rehabilitación de GEMCO ha conseguido grandes mejoras en las prácticas de rehabilitación sobre los últimos cinco años, ganando varios premios y el reconocimiento por las buenas prácticas empleadas en su trabajo de rehabilitación. El mantenimiento de un creciente número de empleados indígenas en GEMCO también ha supuesto una gran mejora en la comunicación entre los Propietarios Tradicionales locales y la compañía, lo que es un importante factor para seguir manteniendo unas buenas relaciones.

Fuente: Groote Eylandt Mining Compan

Asentamiento de especies recalcitrantes

Las compañías mineras que pretenden establecer una comunidad vegetal botánicamente diversa a menudo descubren que algunas especies de plantas son difíciles o imposibles de asentar mediante semillas y que no crecen decididamente cuando se utiliza un suelo fresco. Si es importante que estas especies se asienten para cumplir los objetivos de rehabilitación, puede que sea necesario utilizar procedimientos como la cultura de tejidos, el esqueje u otros métodos.

La realización de esquejes puede ser relativamente sencilla y económica, y puede ser una opción viable para algunas especies (por ejemplo, en los medios tropicales). Como contraste, la cultura de tejidos requiere de un equipo de laboratorio caro y normalmente sólo es apropiada para especies de alta prioridad (como las raras o las que cumplen papeles funcionales clave), o cuando la prioridad es el asentamiento de todo el conjunto de especies que habitan en sitios de referencia con ausencia de actividad minera.

En 2003 Alcoa World Alumina Australia empleó la cultura de tejidos para asentar plantas recalcitrantes. La compañía utilizó estos métodos para cultivar y plantar 184 000 plantas de 23 especies diferentes con un costo medio de alrededor de US\$2.80 por planta en tierra.

Transplante

El transplante de plantas enteras o matas puede ser una manera efectiva de asentar ciertas especies en determinadas circunstancias. Por ejemplo, Consolidated Rutile Limited emplea este método para asentar los árboles de la hierba *Xanthorrhoea johnsonii* en las zonas rehabilitadas de sus minas de arena mineral en North Stradbroke Island en Queensland, Australia. Los árboles de la hierba son un importante componente del ecosistema pre-minero y sirven como hábitat valioso para la fauna. Sin embargo, son de crecimiento lento y, aunque están incluidos en la mezcla de semillas, las plantas podrían tardar décadas en llegar a su madurez. La compañía ha resuelto este problema transplantando las plantas enteras con máquinas excavadoras y camiones, con un 90 por ciento de éxito.

El transplante también puede ser una manera económica de asentar juncos y juncia de los humedales. Las semillas de muchas de estas especies pueden ser difíciles de obtener y la fluctuación en los niveles de agua puede resultar perjudicial para la siembra. El transplante de cepas enteras a intervalos a lo largo de la línea de agua puede ser una práctica mucho más fiable y rápida de asentar vegetación de rivera.

Transferencia de hábitats

Aunque es generalmente cara y sólo se utiliza en circunstancias especializadas, la transferencia de hábitat es otra opción para establecer una diversidad botánica cuando fallan otros métodos. Implica la recolección y transplante de grupos enteros de plantas en pequeñas parcelas mediante, por ejemplo, un remolque de carga y descarga. Esto puede ser útil a pequeña escala cuando se nos presenta como gran prioridad el asentamiento de especies particularmente recalcitrantes o de combinaciones de especies.

Recolonización natural

La recolonización natural puede, con el tiempo, tener éxito en muchas especies de plantas nativas que se asientan por semillas traídas hasta el lugar por el viento, el agua o la fauna (como las semillas en los excrementos de las aves). Las empresas deberán estudiar qué especies recolonizan rápidamente en número aceptable y a cuáles otras les lleva mayor tiempo.

No sirve de mucho comprar y distribuir las semillas de especies que recolonizan de forma natural en un espacio de tiempo aceptable. Sin embargo, cuando la recolonización natural lleva mucho tiempo, se puede necesitar la siembra o la plantación de las especies clave para cumplir los objetivos de rehabilitación y las expectativas de las partes interesadas. Es esencial la protección de las comunidades de vegetación autóctona adyacentes a la mina durante las operaciones en la misma, puesto que proporcionan una fuente de semillas y, de esta forma, facilitan la recolonización natural.

4.10 Asentamiento de las comunidades de fauna

Cuando el objetivo de la rehabilitación es el asentamiento de ecosistemas autóctonos sostenibles, se deben tener en cuenta las necesidades de hábitat de la fauna. La recreación de un hábitat apropiado puede fomentar la recolonización de las especies de fauna en las zonas rehabilitadas. El asentamiento de comunidades de vegetación similares a las existentes con anterioridad a la actividad minera deberá propiciar la pronta recolonización de la mayoría de las especies. Casi siempre es preferible la entrada natural de la fauna a la reintroducción física de animales puesto que no entraña coste y la fauna puede regresar cuando el hábitat cumpla con sus necesidades.

4.10.1 Control de animales problemáticos

Los animales también pueden causar problemas significativos a la emergente rehabilitación. Puede que se tenga que excluir al ganado mediante una cerca durante el periodo de asentamiento y posiblemente durante más. El ramoneo de mamíferos autóctonos como los canguros y los wallabís también puede suponer un problema y se podría necesitar el uso de protectores para los árboles (fundas para proteger las plantas jóvenes) u otros métodos no dañinos para la vida salvaje indígena. Los herbívoros introducidos (como conejos y cabras) pueden diezmar la vegetación recientemente asentada.

Los depredadores silvestres introducidos (como zorros y gatos) son otro problema para el establecimiento de un ecosistema funcional. Pueden reducir significativamente el número de mamíferos autóctonos, haciendo decrecer así las fuentes poblacionales de reclutamiento.

Se necesitará un plan de gestión de la fauna para afrontar estos asuntos. Los departamentos de agricultura de los gobiernos estatal y regionales son una fuente útil de información para el control de los animales silvestres.

4.10.2 Construcción del hábitat para la fauna

La experiencia ha demostrado que algunos componentes claves de las necesidades de hábitat de las especies de fauna pueden faltar en la rehabilitación durante décadas. Como ejemplo de cómo algunas compañías han hecho frente a estas deficiencias de hábitat se incluye:

- el trasplante de árboles de la hierba
- la conservación y reutilización de la vegetación mediante su astillado y esparcimiento como mantillo, la colocación de ramas como cobijo para pequeños invertebrados y reptiles, la protección contra la erosión y el aporte de nutrientes
- la construcción de nidos como cobijo y la creación de hábitats para muchas especies de aves y mamíferos

- la devolución de madera cortada para proporcionar cobijo en forma de troncos para especies que buscan refugio dentro o debajo de ellos
- la construcción de hábitats temporales para reptiles mediante rocas
- la construcción de perchas para las aves de rapiña y otros pájaros (que pueden esparcir semillas)
- la introducción de viejos árboles muertos que proporcionan huecos, grietas, corteza exfoliante, etc., todo lo cual sirve de cobijo para muchas especies de pequeños reptiles e invertebrados.

Un proyecto titulado Innovative Techniques for Establishing Fauna Habitat Following Mining –Técnicas Innovadoras para el Establecimiento de un Hábitat para la Fauna Tras la Minería– realizado por el Australian Centre for Minerals Extension and Research (ACMER) proporciona ayuda práctica sobre los métodos que las compañías mineras están utilizando para establecer éstos y otros hábitats para la fauna (ver <www.acmer.com.au>).

4.11 Re-vegetación de las zonas no afectadas

Los objetivos de la rehabilitación deben desarrollarse sobre la superficie de toda la parcela arrendada, teniendo en cuenta las opiniones de la comunidad y de otras partes interesadas, además de los planes regionales para el uso del suelo, los planes de gestión de las cuencas hidrográficas, los programas Landcare y otras iniciativas. Muchas minas están situadas junto a cauces degradados, terrenos deforestados o sobre-explotados y a montes degradados aislados de otros restos de monte.

La incorporación de las zonas no afectadas por la minería en el plan de rehabilitación puede aportar muchos y valiosos lazos de unión con la comunidad y realzar significativamente los resultados generales de la gestión ambiental. Algunas minas generan unas compensaciones medioambientales que proporcionan una oportunidad excelente para integrar la rehabilitación del lugar en los planes estratégicos de conservación regional. La protección y rehabilitación de las zonas degradadas (bosques, humedales), la construcción de corredores para unir los restos de vegetación y la re-vegetación de las zonas de rivera para favorecer la biodiversidad acuática son ejemplos de compensaciones a la biodiversidad que pueden realzar los valores locales de conservación. Otros objetivos sobre los que se centra la rehabilitación podrían ser la minimización de los impactos secundarios de la operación de minería, por ejemplo, mediante el control de la erosión para evitar en lo posible el arrastre de sedimentos por los cauces, que podría afectar a la calidad del agua y a la biota acuática.

Al igual que las técnicas estándar de re-vegetación, la rehabilitación de las zonas degradadas debería incluir:

- la reducción del consumo de pastos
- el control de los animals silvestres introducidos
- la gestión de los incendios
- la erradicación de las malas hierbas invasoras
- la instalación de nidos
- otras técnicas para proteger la calidad del agua, favorecer los valores conservacionistas y dotarse a largo plazo de fuentes de reclutamiento de animales y plantas.

Los conservacionistas locales y los grupos Landcare son buenas fuentes de información sobre el tipo de iniciativas que podrían resultar más efectivas en su coste.

4.12 Establecimiento de pastizales y de agricultura forestal

Aunque actualmente muchas rehabilitaciones pos-mineras en Australia se diseñan para generar ecosistemas autóctonos, el establecimiento de pastizales apropiados para el ganado todavía está ampliamente extendido, particularmente entre las industrias mineras del carbón de New South Wales y Queensland. Las técnicas que se han llevado a cabo con éxito durante años se resumen en Hannan (1995) y Hannan y Bell (1993). Éstas incluyen pruebas de suelo para determinar los niveles necesarios de fertilizante y, si es necesario, de correctores como el limo. Los pastizales se instalan normalmente utilizando un equipo convencional de siembra para la agricultura. Recientes estudios se han centrado en la determinación de los patrones de gestión a largo plazo (intensidad de los rebaños, necesidades de fertilización) para asegurar la sostenibilidad del uso previsto para la tierra.

En algunas minas se elige la producción de madera como uno de sus principales usos pos-mineros para el terreno. Departamentos de gobierno estatal y regionales, asesores y organizaciones forestales privadas cuentan a menudo con información técnica disponible sobre el establecimiento de plantaciones.

Los elementos clave para establecer con éxito una plantación forestal incluyen la selección de las especies, el tratamiento del terreno (incluido la realización de cortes profundos, el control de las malas hierbas, la fertilización), el espaciamiento de las plantas, el mantenimiento posterior, los tratamientos de monitorización y selvicultura, la tala, el corte y la venta. La mina de carbón de Rix's Creek en Hunter Valley, New South Wales, se ha involucrado en la creación de una plantación forestal comercial, y es probable que otras minas la sigan.

4.13 Monitoreo y mantenimiento

El monitoreo y mantenimiento son componentes esenciales para el éxito de los programas de rehabilitación. Con la rehabilitación, existen detalles en el proceso que deberían documentarse cuidadosamente. El registro de estos datos persigue dos propósitos. Permitir la realización de los análisis que pueden ser clave para explicar los resultados iniciales del proceso y las pautas a largo plazo. Y como uso en forma de lista de verificación auditable para confirmar a los reguladores y a las partes interesadas la culminación de los compromisos acordados.

Al término de las operaciones de establecimiento de la rehabilitación, se debería realizar el monitoreo para evaluar el éxito inicial de la rehabilitación, para desvelar la necesidad de posibles acciones de remedio y para determinar si la rehabilitación tiene visos de cumplir los objetivos a largo plazo y los criterios para el cierre de la mina (hasta donde sea posible en esta etapa inicial).



5.0 CIERRE

La planificación de la rehabilitación se lleva a cabo en las etapas iniciales de desarrollo del proyecto en el contexto de los objetivos generales del cierre de la instalación. Durante la minería, la investigación y las pruebas realizadas permiten la modificación del programa de rehabilitación para incorporar los parámetros específicos del lugar. Al cierre, se da forma al relieve final y se prolonga el programa de rehabilitación progresivo para incluir las restantes zonas afectadas. Los elementos más importantes del programa de rehabilitación tras el cierre son el refinamiento de los criterios de éxito y la implantación de un programa del monitoreo a largo plazo. El objetivo es demostrar que las zonas rehabilitadas evolucionan hacia unos ecosistemas estables y sostenibles en consonancia con los criterios de terminación definidos.

5.1 Consultas durante el cierre de la mina

En el período preparatorio al cierre de la mina, se necesitarán unos criterios de cierre para demostrar el éxito de la rehabilitación. Tanto los reguladores como la comunidad local pueden jugar un papel importante en la formulación de estos criterios y en la elección de los métodos de monitoreo para evaluar la actuación. Esto en particular es importante si la comunidad local va a utilizar los componentes del lugar ya clausurado.

En la monitoreo a largo plazo del éxito de la rehabilitación también puede tener la comunidad local un papel que desempeñar. Algunos ecosistemas pueden tardar décadas en restablecerse y el rápido avistamiento de problemas potenciales puede evitar los costosos programas de mantenimiento.

5.2 Formulación de los criterios del éxito de una rehabilitación

Existe un amplio reconocimiento desde el punto de vista de la industria, los reguladores y la comunidad de la necesidad de unos criterios que determinen el momento en que una rehabilitación ha tenido éxito o ha terminado. Los criterios del éxito para una rehabilitación se tienen que basar en principios ecologistas. Los que se basan en un reducido número de indicios vegetales o exclusivamente en parámetros químicos, por lo general han resultado inadecuados. Es necesaria una combinación de atributos a nivel paisajístico y a nivel específico en relación con ciertas propiedades del ecosistema. Estos criterios tienen que ser también directamente traducidos a los programas operativos de monitoreo mediante los datos de análisis de campo y los mapas de imágenes de percepción remota. Se puede obtener una información más detallada sobre este particular en el denominado Manual de Cierre y Terminación de Minas, perteneciente a esta colección.

5.3 Desarrollo del programa de monitoreo de una rehabilitación

La industria minera ha respaldado muchos programas de investigación, los cuales han presentado una variedad de técnicas valiosas para evaluar la estabilidad y sostenibilidad del terreno, las dinámicas y el funcionamiento de la vegetación y el ecosistema sobre el terreno rehabilitado. Existe una cantidad de experiencias nuevas e innovadoras que han resultado ser

útiles en el contexto de procesos como el de medir la erosión y el desarrollo del ecosistema. Para lo último, se han empleado técnicas que varían desde los indicadores ecológicos a gran escala situados en un paisaje hasta la determinación de la población de especies y las respuestas fisiológicas. El enfoque más prometedor consiste en la combinación de indicadores, puesto que los parámetros de un ecosistema son más fáciles de probar a diferentes escalas.

En esta sección se describe un proceso secuencial para el diseño y la implementación del programa de monitoreo de una rehabilitación. Estos pasos tendrían que haber sido desarrollados en las primeras etapas de la planificación e implementados durante las progresivas etapas operativas de la mina, aunque se han incluido aquí como refuerzo y culminación.

5.3.1 Formulación de los objetivos de una rehabilitación

Esta fase inicial se tendría que llevar a cabo idealmente en comunión con las principales partes interesadas para debatir y acordar los criterios del éxito en la rehabilitación. Los criterios del éxito tienen que tener en cuenta la idiosincrasia del área rehabilitada, el uso para el terreno pos-minero y cualquier limitación o potencial limitación para conseguir éstos usos finales deseados. Como se ha venido comentando en secciones previas de este manual, dentro de estas limitaciones podrían incluirse las propiedades químicas, geográficas, físicas, biológicas o hidrológicas de los paisajes reconstruidos y de los sustratos.

Puede haber diferentes criterios de éxito para diferentes dominios o partes de la mina, como las pilas de desechos rocosos, los recintos para el almacenaje de escorias, los vacíos, los canales y los desvíos, y las zonas para las infraestructuras.

Si las comunidades autóctonas sostenibles de especies locales se devuelven a las zonas rehabilitadas, puede haber comunidades apropiadas en el entorno cercano que puedan actuar como referencia o "análogos". Sin embargo, dada la naturaleza de los procesos mineros, de los nuevos relieves y del reconstruido entorno de crecimiento desarrollado, la selección de los lugares no es obvia necesariamente. Una comprensión de las interacciones de crecimiento (medio, planta, clima) es esencial para armonizar las comunidades reconstruidas con los lugares de referencia apropiados. Para la mayoría de las regiones de Australia, la vegetación responderá ampliamente ante las variaciones de humedad y disponibilidad de nutrientes, con menor respuesta a otras variables como la altitud o la radiación solar recibida. Por tanto, se debe dar prioridad a la investigación de combinaciones e interacciones de una serie de factores como la posición del paisaje (zonas de entrada o de salida), las laderas, la profundidad y textura del suelo (o zona de enraizamiento), la naturaleza de la superficie y la química del suelo.

Si como opción para el uso pos-minero de la tierra se ha elegido el cultivo a baja intensidad de pastos, entonces será necesaria una evaluación basada en el riesgo para definir los principales criterios de éxito. Por ejemplo, se necesitará la realización de los estudios/ensayos determinados para afrontar asuntos como la capacidad de sostenibilidad o la potencial contaminación por metales.

5.3.2 El papel de los análogos

La planificación para la rehabilitación de los relieves mineros requiere de un conocimiento sobre el estado de afectación. Se necesitan inventarios ecológicos básicos para proporcionar información sobre la composición de especies e, idealmente, deben tener en cuenta las etapas evolutivas de la vegetación. Los ecosistemas muestran un flujo natural que varía de un lugar a

otro debido a la heterogeneidad del entorno natural. Por tanto, un único sistema de referencia es a menudo inadecuado. Se deberán usar múltiples lugares de referencia para contar con parcelas dinámicas y heterogeneidad de entornos. La anotación de puntos de referencia necesita considerar y contar con discrepancias causadas por las diferencias en las etapas evolutivas entre lugares jóvenes rehabilitados y lugares de referencia ecológicamente maduros.

Es importante no establecer a los análogos como puntos de comparación en la rehabilitación. La razón es que los mayores trastornos hidrológicos y nutricionales sufridos por las comunidades rehabilitadas han dado lugar a un entorno considerablemente diferente de las circunstancias bajo las cuales el análogo cercano puede haber evolucionado. La utilización de entornos análogos está fundamentada en la presunción de que tales lugares representan el estado óptimo del ecosistema. En muchos casos esto puede no ser verdad, dado el impacto humano por el pastoreo, el fuego y otras actividades pre-mineras.

Aunque los estándares comparativos pueden ser claramente imperfectos, la colocación de puntos o zonas de referencia en sistemas no afectados por la minería añade valor, puesto que se pueden evaluar las influencias climáticas y estacionales que pueden impactar en la progresión de la rehabilitación. A parte de las variaciones en la composición de las especies, los lugares de referencia también proporcionan una guía sobre el nivel y tipo de cubierta presente y, como resultado, los impactos de tal cubierta sobre la cantidad y la calidad del agua despejada.

Las observaciones realizadas en una variedad de entornos, desde una escala paisajística a otra micro-topográfica, sugieren que la disponibilidad de agua es el eje motriz de la distribución espacial de las comunidades vegetales. También se ha observado que el movimiento del agua por el paisaje puede influenciar la acumulación y disponibilidad de nutrientes. Este principio puede proporcionar la base para comprender el potencial de un lugar reconstruido y fundamentar la lógica (y defendible) selección de unas comunidades de referencia o análogos.

5.3.3 Selección de los parámetros de monitoreo

Los parámetros y la frecuencia de observación dependerán de la información que éstos puedan proporcionar, de la sensibilidad de su respuesta, de su correlación con los procesos de ecosistemas parecidos y su factor previsible, de su facilidad (y costo) de medición y de su grado de repetición o subjetividad. La elección de los parámetros de monitoreo es de gran alcance, aunque debiera incluir los parámetros que se sabe o se espera sean más restrictivos para el éxito de la estabilidad del lugar, la adaptación de la vegetación, el desarrollo y la sostenibilidad.

Típicamente, el monitoreo de una rehabilitación incluye:

- evaluación de la estabilidad de la superficie (y las laderas)
- la actuación de las cubiertas construidas (cuando estén instaladas sobre desechos mineros)
- propiedades del suelo o del medio de enraizamiento (como química, fertilidad y agua)
- atributos estructurales de la comunidad de plantas (como cubierta, densidad de las especies leñosas y altura)
- composición de la comunidad de plantas (como presencia especies deseadas, malas hierbas)
- indicadores seleccionados sobre el funcionamiento del ecosistema (como la biomasa microbiana del suelo).

El monitoreo se puede también extender a los grupos de fauna seleccionados para evaluar

su retorno (incluido mamíferos y aves), o como bio-indicadores de pautas más amplias en un ecosistema (hormigas).

Como ejemplo de los parámetros que se podrían medir en un determinado lugar para documentar los criterios específicos de dicho lugar se incluye:

Primarios

- erosión
- carbono orgánico del suelo
- cubierta terrestre (vida, desperdicios, rocas)
- riqueza de las especies vegetales

Secundarios

- biomasa microbiana del suelo
- nitrógeno foliar y fósforo
- presencia de malas hierbas
- actividad micro-simbiótica
- actividad de la fauna (invertebrada).

En el marco anterior de monitoreo, se ha hecho una distinción entre parámetros de orden primarios y secundarios. En este ejemplo particular, los parámetros de orden primario serían obligatorios y de diagnóstico mientras que los de orden secundario son más prescindibles e inquisitivos. Los parámetros de orden secundario se estiman necesarios cuando los resultados obtenidos de la medición de los primarios indican que los criterios de éxito no se están alcanzando o no es probable que vayan a alcanzarse. Sobre el calendario de un programa de monitoreo extendido, la frecuencia con la que se miden los parámetros de orden secundario puede ser perfectamente menor a la de los primarios.

Aunque algunas plantas y atributos del suelo no quedan afectados estacionalmente, es necesario estandarizar los tiempos de recogida de datos para otros atributos. En la zona norte de Australia, por ejemplo, se aconseja que los ensayos se concentren al final de la estación húmeda para coincidir con el crecimiento óptimo de las plantas y demás actividad biológica asociada.

La medición de la erosión puede realizarse de diferentes maneras:

- atrapando y midiendo los sedimentos erosionados por la escorrentía
- tomando muestras de las escorrentías para medir la carga de sedimentos que transportan
- midiendo la variación en altura de los terrenos afectados para estimar el volumen de suelo erosionado.

El empleo de instrumentación puede proporcionar medidas precisas sobre las escorrentías en los lechos y sobre las cargas de sedimentos en suspensión, que pueden ser particularmente útiles cuando se atiende al equilibrio del agua y al desplazamiento de los sedimentos. Este enfoque ofrece típicamente unos datos de alta calidad, aunque tiene mucha carga de trabajo y se necesita situar los instrumentos cuidadosamente para que proporcionen datos significativos.

El muestreo de los sedimentos presentes en las escorrentías es sólo relevante para el análisis de las cargas en suspensión (debido a la dificultad de tomar muestras significativas sobre el arrastre de los sedimentos que conforman el lecho) y, de nuevo, se necesitarían lugares apropiados para las muestras.

Se ha empleado una variedad de técnicas para medir el volumen de la erosión sobre una zona de interés. Gran parte depende de la magnitud de la erosión aunque, generalmente, los enfoques basados en el escaneo con láser o en la fotogrametría digital ofrecen mediciones relativamente fiables sobre el volumen del cambio. Las mediciones directas del volumen de barrancos y chorreras pueden ser útiles en algunos casos, pero los enfoques que utilizan estacas de erosión tienden a ser imprecisos y bastante insatisfactorios.

5.3.4 Selección de un enfoque de monitoreo

El personal ambiental de la mina se enfrenta a una multitud de instrumentos y técnicas de evaluación. Necesitan determinar la manera de integrar los datos de estas técnicas distintas, si existen lagunas en la evaluación del funcionamiento de la rehabilitación y ver qué técnicas pueden ser más apropiadas para el lugar concreto y sus circunstancias. También se tienen que integrar nuevas técnicas a la compilación de datos a largo plazo existentes, y a las mediciones del lugar integrarlas con las mediciones del entorno y de la región.

Transectos

Un enfoque de transectos se considera a menudo apropiado para la recogida de datos en muchos tipos de paisaje y de edades de re-vegetación. Este método evalúa adecuadamente unidades de tierra rehabilitada de diferentes formas y tamaños, mientras que también se evalúa la probable variabilidad inherente en aspecto, ladera y composición del sustrato de cada unidad. Un protocolo de muestreo utilizando cuadrantes puede integrarse con el método de transectos para recibir más detalles sobre la composición y diversidad de las especies de la cubierta terrestre y otras características de la superficie importantes desde el punto de vista de la estabilidad y funcionalidad.

Análisis del funcionamiento de un ecosistema

En los últimos años también se ha utilizado en numerosos lugares el análisis de funcionamiento del ecosistema (EFA), que es un nuevo enfoque para monitorear la rehabilitación del terreno minero. Este análisis, desarrollado por CSIRO, provee de un método de monitoreo que ha sido transferido desde su uso original en los ecosistemas naturales y que se ha adaptado para las zonas mineras en rehabilitación. Es método, descrito en Tongway (2001), consiste en el análisis del funcionamiento de los componentes primarios de un paisaje, observando las características superficiales del suelo para estimar (y posteriormente calcular) los índices de estabilidad del suelo, la infiltración y el ciclo nutritivo. Completan el paquete unos módulos adicionales sobre dinámicas vegetales y complejidad del hábitat.

Sobre un número de estudios de validación que compararon el poder de información del análisis de funcionamiento del ecosistema con otras metodologías más cuantitativas, la técnica ha demostrado ser exitosa en casos con un relativo grado de homogeneidad de sustratos sobre el paisaje rehabilitado y cuando las técnicas de rehabilitación han permanecido más o menos constantes en el tiempo.

Detección remota

La detección remota o monitoreo basada en imágenes es probable que empiece a jugar un papel en la evaluación de rehabilitaciones mineras. La detección remota se desarrolló como herramienta para ampliar las relaciones a nivel de campo y proporcionar un recurso para enfocar los estudios de campo sobre la escala minera global. Se recogen datos de campo e imágenes que se correlacionan con esos datos para permitir la extrapolación de las mediciones a escala local para todo el lugar completo.

La llegada hace unos años de sensores aéreos de alta calidad incrementó el potencial para establecer un marco económico y riguroso, capaz de planear, evaluar y monitorear las zonas rehabilitadas mediante sensores remotos. Los datos aéreos hiperespectrales pueden ofrecer una serie de ventajas sobre los datos detectados remotamente por banda ancha, como puede ser las fotografías aéreas y las imágenes de satélite (Landsat). Las imágenes y espectros de alta resolución más recientes disponibles de los satélites actuales (Quickbird and SPOT 5), proporcionan aún mayores oportunidades de identificar y monitorear el éxito de una rehabilitación.

5.3.5 Revisión de los resultados de monitoreo

La publicación anual (o periódica) de los datos de monitoreo puede que sea un requerimiento legislativo, aunque el valor real de el monitoreo reside en la acumulación de información a un plazo más largo. En relación con los tratamientos iniciales o las condiciones de asentamiento se pueden determinar las tendencias en los desarrollos de rehabilitación con respecto a lugares de referencia e identificar las trayectorias de rehabilitación. Esto genera confianza sobre las técnicas utilizadas, no sólo para la compañía sino también para la autoridad reguladora y las demás partes interesadas. La revisión periódica de la información de monitoreo puede además identificar lagunas de información o destacar aspectos que requieren una mayor investigación o solución.

5.4 Desarrollo de un manual de monitoreo

En un programa de monitoreo se obtiene más valor cuando se utiliza información procedente de lo sucedido en otras zonas ya rehabilitadas. Un registro sobre la historia de una rehabilitación enlaza las actuaciones presentes con las prácticas de rehabilitación, de tal modo que se pueden identificar las mejores iniciativas y remediar los problemas. Ambas fuentes de información (histórica y presente) son esenciales para completar el bucle de retro-información y así se pueda conseguir una mejora continua.

La información básica que debe documentarse para cada zona de rehabilitación incluye la preparación del terreno; la utilización, origen y manipulación del suelo (si alguno); los tipos, proporciones e historial de los fertilizantes; la composición de las semillas esparcidas para el asentamiento; el calendario de actividades y la sucesión de hechos dañinos como el fuego. También se debe registrar el contorno de la zona rehabilitada que recibe el mismo tratamiento. La demás información que se recoge rutinariamente sobre el lugar, como la lluvia, la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento, es muy valorada para comprender las razones para del resultado de una rehabilitación en particular.

El manual de monitoreo tiene que establecer los métodos y protocolos necesarios para conducir un programa de rehabilitación científicamente riguroso sobre el suelo y los atributos vegetales

de una zona pos-minera en rehabilitación. Tiene que ser suficientemente sencillo y flexible de modificar y refinar dependiendo de los resultados repetidos en la implementación de los procedimientos y mediciones, y poder reflejar cualquier cambio en las prácticas de rehabilitación que pudieran, en caso necesario, adoptarse con el tiempo.

Una vez se ha documentado ampliamente la historia de la zona en rehabilitación y todos los componentes subyacentes que intervinieron en las tareas de plantación y siembra, el manual debe describir el plan de monitoreo pos-asentamiento, incluyendo:

- detalles sobre la localización de los transectos, su número y razones para la selección de los lugares
- localización de los cuadrantes a lo largo de los transectos para permitir una evaluación más detallada sobre ciertos parámetros dentro y fuera de los puntos de muestreo
- lo que se debe medir en los transectos—dónde y cómo
- instrucciones sobre cómo se deben almacenar y tratar las muestras recogidas antes de ser analizadas.

5.5 Aprobación del arrendamiento

Las compañías mineras llevan a cabo la rehabilitación del área dañada para cumplir con las regulaciones estatales y regionales sobre medio ambiente y realiza el monitoreo de las zonas asentadas para evaluar la actuación. El objetivo es demostrar la presencia de un relieve estable y no contaminado, facilitando así el visto bueno sobre el arrendamiento y la condonación de sus obligaciones de responsabilidad continuada. Los reguladores gubernamentales, sin embargo, pueden mostrarse reticentes a otorgar la baja y asumir el riesgo de responsabilidad futura.

Existen dos áreas principales de incertidumbre. La primera es la posibilidad de que la rehabilitación falle cierto tiempo después del cierre de la mina (algo no sostenible), riesgo que puede ser minimizado mediante la investigación especializada y la interpretación de las tendencias y datos de monitoreo a largo plazo. La segunda área de incertidumbre, que ha recibido menos atención, está relacionada con la calidad de la rehabilitación, que puede ser altamente variable en el espacio debido a la heterogeneidad del medio para el crecimiento resultante de la minería y de las operaciones de procesamiento del mineral. Una rehabilitación que cumple e incluso excede el conjunto de criterios para un lugar puede muy bien fracasar cierto tiempo después. Dado que la monitoreo o muestreo de una rehabilitación se realiza normalmente sobre puntos básicos, todavía persiste una incertidumbre sobre la interpretación de los datos.

El plan de rehabilitación debe reconocer y afrontar las variaciones que se produzcan sobre la calidad de los desechos de roca subyacentes que puedan impactar potencialmente sobre los progresos de la vegetación. Esto permitiría variar el grosor de la cubierta superficial, a menudo tan escasa, o del material situado en la zona de enraizamiento, dependiendo de las propiedades de los desechos mineros subyacentes. Tal iniciativa debería reportar mayor consistencia a la calidad de los resultados de la rehabilitación y minimizar el costo de los trabajos de refuerzo.

Un programa de monitoreo bien desarrollado e implementado puede demostrar que las zonas rehabilitadas se ajustan a los cambios evolutivos previstos. Esto proporciona confianza a las partes interesadas para pensar que los resultados previstos para el futuro se van a lograr.



6.0 CONCLUSIÓN

La rehabilitación es el principal proceso utilizado para reparar los impactos a largo plazo de la minería sobre el medioambiente. Los objetivos de la rehabilitación pueden variar desde la simple conversión de una zona a una situación estable y segura, hasta la restauración de las condiciones originales tan fielmente como sea posible para asegurar la futura sostenibilidad del lugar.

La rehabilitación minera es una parte esencial en el desarrollo de los recursos mineros de acuerdo con los principios leading practice sobre desarrollo sostenible. La rehabilitación no es un proceso que deba considerarse sólo al momento, o justo antes del, cierre de una mina. Más bien, debiera ser parte de un programa integrado de planificación y gestión efectiva a través de todas las fases y operaciones evolutivas de una mina.

Este manual comprende la rehabilitación a lo largo de todas las fases evolutivas de una mina, incluyendo la planificación, las operaciones y el cierre. Resume los principios y prácticas de la rehabilitación de minas con especial atención sobre el diseño del relieve y la re-vegetación. Se ha puesto particular énfasis en la restauración de los ecosistemas naturales, especialmente en el restablecimiento de la flora autóctona.

Mensajes claves

Los siguientes puntos resumen los mensajes claves de este manual:

Planificación

- desarrollar un plan de rehabilitación durante la fase de planificación que evolucione en tanto vamos disponiendo de resultados procedentes de la investigación y de los ensayos sobre el terreno
- tener lista una caracterización de los materiales a rehabilitar para identificar a tiempo problemas potenciales y poder resolverlos
- comprender los aspectos ambientales externos con potencial para limitar el éxito de la rehabilitación
- formular unos objetivos de rehabilitación realistas.

Operaciones

- gestionar el agua para minimizar la erosión y reducir el potencial de contaminación externa
- diseñar relieves que sean seguros, estables y en sintonía con el entorno circundante
- instalar cubiertas que refuercen la estabilidad y protejan el material potencialmente peligroso situado bajo el terreno
- gestionar el suelo para conservar los valiosos nutrientes y reforzar la viabilidad de las semillas autóctonas y los microorganismos

- perseguir la adaptación de las comunidades de flora y fauna dinámicas y resistentes a las perturbaciones.

Cierre

- formular criterios de éxito para la rehabilitación que sean consistentes con los objetivos generales de cierre de la mina
- establecer un programa de monitoreo para la rehabilitación que mida los parámetros funcionales clave del ecosistema en evolución
- demostrar mediante el monitoreo a largo plazo que la evolución de las zonas rehabilitadas es concordante con los criterios de terminación.

Es importante mantener el compromiso de las partes claves interesadas sobre los temas de la rehabilitación a lo largo de todas las etapas del proceso minero. Además del punto de vista de la comunidad, la planificación de una rehabilitación debe también incorporar las investigaciones realizadas con anterioridad a la actividad minera como pueden ser los requerimientos legales, los estudios climáticos, topográficos e hidrográficos relativos a la calidad del agua y del aire, los estudios sobre flora y fauna, el suelo y otros factores. Otros aspectos clave del proceso de restauración son los objetivos de rehabilitación, la manipulación del suelo, los trabajos en el terreno, la re-vegetación, los nutrientes del suelo, el retorno de la fauna, el mantenimiento, los criterios del éxito y la monitoreo.

El público juzga a la industria minera, de hecho, a cualquier tipo de industria, sobre la base de sus peores integrantes. Este manual muestra algunos casos del excelente trabajo llevado a cabo por la industria minera y el sector de los minerales en la aplicación de los principios leading practice de rehabilitación minera. La información y estudios de caso proporcionados en este manual ilustran la capacidad de la minería para operar bajo principios de sostenibilidad.

Lograr una rehabilitación exitosa, en un entorno de crecientes expectativas por parte de los reguladores y de las partes interesadas, requerirá de mayores resultados desarrollados e implementados con la participación de las partes interesadas más representativas. La implementación de una rehabilitación minera no sólo proporcionará unos resultados sociales y ambientales mayores y más satisfactorios, sino que también reducirá la carga económica. La información presente en este manual deberá ayudar a los gestores y planificadores mineros a desarrollar e implementar un plan de rehabilitación específico para cada zona, que logre un uso pos-minero óptimo de la tierra con flexibilidad para incorporar continuas mejoras mediante el acomodo de cambios tecnológicos y metodológicos.

REFERENCIAS

- Asher, C, Grundon, N & Menzies, N 2002, *How to unravel and solve soil fertility problems*, ACIAR Monograph No. 83, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Bell, LC 2002, 'Remediation of chemical limitations', in *Restoration and management of derelict land—modern approaches*, MH Wong and AD Bradshaw (eds.), pp. 112-127, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Carroll C, Merton L & Burger P 2000, 'Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines', *Australian Journal of Soil Research* 38(2), CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria.
- Dane, JH & Topp, GC (eds.) 2002, *Methods of soil analysis, part 4, physical methods*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Darmody and WL Daniels (eds.), *Agronomy Monograph* 41, pp. 77-104, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Dixon, JB & Schulze, DG (eds.) 2002, *Soil mineralogy with environmental applications*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Floradata 2001, *A guide to collection, storage and propagation of Australian native plant seed*, February 2001, ISBN 0957796617. Further information regarding this guide can be found at: www.acmer.com.au/publications/floradata.htm
- Grigg, A, Mullen, B, Hwat Bing So, Shelton, HM, Bisrat, S, Horn, P & Yatapange, K 2002, *Sustainable grazing on rehabilitated lands in the Bowen Basin*, Australian Coal Association Research Program Project C9038.
- Hannan JC 1995, *Mine rehabilitation: a handbook for the coal mining industry*, 2nd edn, NSW Coal Association, Sydney.
- Hannan, JC & Bell, LC 1993, 'Surface rehabilitation', in *Australasian Coal Mining Practices*, AJ Hargraves and CH Martin (eds.), pp. 260-280. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Parkville.
- Hossner, LR (ed.) 1988, *Reclamation of surface-mined lands*, Vol. 1 and 2, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Landloch 2003, 'Surface roughness on rehabilitated slopes', Landloch technical article www.landloch.com.au/technotes
- Loch, RJ 2000, Using rainfall simulation to guide planning and management of rehabilitated areas: I, Experimental methods and results from a study at the NorthParkes mine, *Land Degradation and Development* 11, pp. 221-240.
- Loch, RJ 2000, 'Effects of vegetation cover on runoff and erosion under simulated rain and overland flow on a rehabilitated site on the Meandu Mine, Tarong', *Australian Journal of Soil Research* 38: 299-312, Melbourne.
- Loch, RJ & Orange, DN 1997, 'Changes in some properties of topsoil at Tarong Coal - Meandu coal mine with time since rehabilitation', *Australian Journal of Soil Research* 35, pp. 777-784, Melbourne.

Minerals Council of Australia 2004, *Enduring value - the Australian minerals industry framework for sustainable development*, Minerals Council of Australia, Canberra.

Minerals Council of Australia 2004, *Enduring value - the Australian minerals industry framework for sustainable development*, Guidance for implementation, Minerals Council of Australia, Canberra.

Scanlan JC, Pressland AJ & Myles DJ 1996, 'Run-off and soil movement on mid-slopes in north-east Queensland grazed woodlands', *Rangeland Journal* 18(1), CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria.

Silburn DM, Carroll C, Ciesiolka CAA, Hairsine P 1992, 'Management effects on runoff and soil loss from native pasture in Central Queensland', in *Proceedings 7th Australian biennial rangeland conference*, Cobar NSW 5-8 October 1992, pp. 294-295.

Sobek, AA, Skousen, JG & Fisher, Jr, SE 2000, 'Chemical and physical properties of overburdens and mine soils', in *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*, RI Barnhisel, RG

Sparks, DL, Page, AL, Helmke, PA, Loeppert, RH, Soltanpour, PN, Tabatabai, MA, Johnston, CT & Sumner, ME (eds.) 1996, *Methods of soil analysis, part 3, chemical methods*, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Tremblay, GA and Hogan, CM (eds) 2001, *MEND manual, volume 2, sampling and analysis*, Natural Resources Canada (CANMET), Ottawa.

Ward, SC, Koch, JM & Ainsworth, GL 1996, 'The effect of timing of rehabilitation procedures on the establishment of a Jarrah forest after bauxite mining' *Restoration Ecology* 4, pp. 19-24, Melbourne.

Williams, DJ 2006, 'The case for revolutionary change to mine waste disposal and rehabilitation', *Proceedings of Second International Seminar on Strategic versus Tactical Approaches to Mining*, Perth, Australia, 8-10 March 2006, pp. 19.

Williams, DJ, Stolberg, DJ & Currey, NA 2006, 'Long-term performance of Kidston's "store/release" cover system over potentially acid forming waste rock dumps', *Proceedings of Seventh International Conference on Acid Rock Drainage*, St Louis, Missouri, USA, 26-30 March 2006, pp. 2385-2396.

Williams, RD & Schuman, ED (eds.) 1987, 'Reclaiming Mine Soils and Overburden in the Western United States', *Analytic Parameters and Procedures*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.

BIBLIOGRAFÍA

- Departamento de Medioambiente y Patrimonio, www.deh.gov.au
- Departamento de Industria, Turismo y Recursos, www.industry.gov.au
- Programa de Desarrollo Sostenible Leading Practice, www.industry.gov.au/sdmining
- Consejo Ministerial de Recursos Minerales y Derivados del Petróleo, www.industry.gov.au/resources/mcmpr
- Consejo de Minerales de Australia, www.minerals.org.au
- Valor Perdurable, www.minerals.org.au/enduringvalue

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agua sobrante

La que se vierte procedente del lodo acumulado en la cima de un depósito de escorias.

Análogo

Un rasgo no afectado por la minería con el que otro sí implicado se puede comparar.

Ángulo de reposo

El ángulo máximo desde la horizontal sobre el cual un material dado puede descansar en una superficie determinada sin deslizar ni rodar.

Aprobación

Visto bueno formal por parte de la autoridad estatutaria relevante, indicando que los criterios de terminación de la mina se consideran cumplidos a satisfacción de la autoridad.

Bancal

Retranqueo o inclinación de una pared en sucesivos tramos.

Barrera de capilaridad

Una capa de materiales rugosos colocada entre materiales de textura más fina para prevenir el movimiento vertical de agua (y sales asociadas) por la tensión superficial desde los materiales de fina textura situados en la parte inferior hacia los otros de textura también fina situados en la parte superior.

Berma

Repisa horizontal o cornisa construida sobre un terraplén o pared inclinada para romper la continuidad de la que de otra forma sería una larga ladera, con el propósito de fortalecer e incrementar la estabilidad de la ladera para recoger o detener los materiales en descenso, o para controlar el flujo de agua residual y la erosión.

Criterios de terminación

Un nivel o estándar de actuación acordado con el que se demuestra el cierre exitoso del lugar.

Cubierta de acumulación / descarga

Es la apropiada para los climas estacionales y escasamente húmedos, la cual almacena el agua de lluvia infiltrada durante la estación húmeda y luego la libera mediante la evapotranspiración durante la estación seca.

Cultura de tejidos

Un método de propagación asexual empleado para producir clones de una planta en particular en grandes cantidades.

Depósito de almacenaje de escorias

Una zona utilizada para confinar escorias; su primera función es la de generar sólidos y mejorar la calidad del agua. Se refiere al recinto al completo y puede incluir mena o más embalses de escorias.

Depósitos ROM

La acumulación de mena recién extraída utilizada para alimentar la acería y la planta de procesado.

Desecho reactivo

Desecho que reacciona ante la exposición al oxígeno.

Desechos de roca

Roca antieconómica extraída del terreno durante la operación de minería para conseguir el acceso a la mena.

Dique

Un muro de retención compuesto de tierra.

Drenaje de ácido

Desagüe de ácido procedente de desechos mineros, que resulta de la oxidación de sulfatos como la pirita.

Ecosistema

Un sistema cuyos miembros se benefician de la participación de otros por medio de relaciones simbióticas (relaciones de sumas positivas). Es un término originario de la biología y que refiere a los sistemas auto-sostenidos.

Ecosistema funcional

Un ecosistema que es estable (no sujeto a altos índices de erosión), efectivo en la retención de agua y nutrientes, además de auto-sostenido.

Efecto de corte

El efecto de un hábitat sobre otro a lo largo de la frontera entre los dos. Un hábitat clareado puede ejercer un impacto a lo largo de su frontera con otro no clareado por el incremento de la penetración del sol y el viento.

Empedrado

Un ensamblaje poroso de piedras partidas situado para proteger el suelo de las fuerzas de la erosión o del movimiento debido exceso de fuerzas hidrostáticas.

Encapsulado

El cierre total de un residuo en otro material que lo aísla de las condiciones externas (normalmente oxígeno o agua).

Escarificación

El proceso de provocar la germinación de las semillas mediante algún tipo de incisión o rotura.

Especies carismáticas

Especies destacadas que pueden ser llamativas pero que sirven poco en el propósito de mantener la sostenibilidad del ecosistema.

Especies crípticas

Especies menos obvias o que no se suelen observar.

Especies pioneras

Las primeras especies en colonizar una zona dañada.

Especies recalcitrantes

Especies difíciles de reasentar.

Estacas de erosión

Varillas de hierro clavadas en el suelo para dotarlas de marcas de referencia y estimar la magnitud del descenso de la superficie por la erosión en cualquier punto. Como la erosión de las laderas es altamente variable en el espacio, se necesita una gran cantidad de varillas para obtener una estimación precisa de la erosión, aunque generalmente la cantidad suele ser inadecuada. Esta práctica es más apropiada para la verificación del crecimiento de los barrancos o grandes chorreras, donde se localiza fuertemente la erosión.

Galería

Abertura o hueco subterráneo en una mina.

Gestión adaptativa

Proceso sistemático para mejorar de manera continua la política y prácticas de gestión a partir de los resultados de programa operativos. La Guía de Buenas Prácticas sobre Minería y Biodiversidad del ICMM se refiere a la gestión adaptativa como "hacer-controlar-evaluar-revisar".

Grabar

Construir surcos para reducir la filtración o para mejorar la estabilidad de un terraplén.

Hidrosiembra

El esparcimiento de una mezcla de papel o mantillo vegetal con contenido en semillas, fertilizantes y agente vinculante, sobre una ladera tan pronunciada o inaccesible que no se puede sembrar con técnicas convencionales.

Huella

La superficie de la zona cubierta por la mina e infraestructuras asociadas.

Humedad

Infiltración de agua de lluvia entre los desechos, la cual progresa en avance descendente.

Leading practice

La mejor práctica disponible en la actualidad promotora de desarrollo sostenible.

Licencia social para operar

El reconocimiento y aceptación de la contribución de una empresa a la comunidad en la que opera, yendo más allá del cumplimiento de los requisitos legales, para desarrollar y mantener relaciones constructivas con las partes interesadas necesarias para que el negocio sea sostenible. En general procede de esforzarse por mantener relaciones basadas en la honestidad y el respeto mutuo.

Lodo

Compuesto acuoso formado por sólidos finamente divididos por la utilización de espesantes.

Macroporos

Grandes espacios huecos entre partículas de tamaño grueso.

Marca lunar

Una técnica que utiliza la excavadora para festonear un patrón que ayuda a prevenir la erosión.

Mina abandonada

Una zona anteriormente utilizada para el minado o procesamiento de mineral, en que el cierre se considera incompleto y para la cual todavía existe un título de propiedad.

Procedencia local

Plantas cuyo origen autóctono está próximo al de donde se van a plantar (por ejemplo en la misma zona local).

Propagador

Cualquier estructura con capacidad para nacimiento a una nueva planta, ya sea por reproducción sexual o asexual (vegetativa). Aquí se incluyen las semillas, esporas y cualquier parte de los cuerpos vegetales capaz de crecer independiente al separarla del principal.

Pruebas cinéticas

Pruebas dinámicas de generación de ácido, incluido el efecto del tiempo de reacción.

Recuento de ácido y base estáticos

Equilibrio entre las reacciones completamente ácidas y las completamente alcalinas.

Rehabilitación

La vuelta de un terreno castigado hasta una condición estable, productiva y auto-sostenido, después de tener en cuenta los usos beneficiosos del lugar y sus alrededores.

Rellenado

Recubrimiento de una excavación o vacío.

Restos de vegetación

Vegetación autóctona que queda después de que se haya realizado el aclaramiento generalizado.

Rodamiento

El flujo y segregación de desechos rocosos de considerable tamaño con la descarga basculante sobre una colina en ángulo de reposo.

Saturación

Agua o lodo de escorias que desborda la cima de la estructura de contención.

Suelo dispersivo

Suelos que son estructuralmente inestables y se disgregan en el agua formando partículas básicas (como arena, limo, arcilla). Los suelos dispersivos tienden a ser altamente erosivos y presentan problemas para la gestión exitosa del acondicionamiento del terreno.

Suelo sódico

Terrenos compuestos por sodio en una proporción significativa (normalmente superior al seis por ciento) de su total de cationes intercambiables. Los suelos sódicos tienden a tener un mal drenaje debido a su pobre estructura.

Trayectorias de comunidades en rehabilitación

Tendencias en la rehabilitación conforme ésta se desarrolla en el tiempo.

Vacío final

El hueco restante dejado en la cantera al cierre de la mina.

Volcado en llano

Camión que descarga sobre una superficie plana.

Volcado trasero

El proceso por el cual se descarga material por la parte posterior de un camión basculante. Los montones de material de sobrecarga se construyen descargando la carga de los camiones sobre la cima de los montículos y sobre la ladera por la parte trasera de los camiones.

