

## Informe Final

### Proyecto "Consultoría Especializada Cierre Faenas Mineras"

Código: 207-6185



Programa de Evaluación de Riesgos  
y Remediación Ambiental  
Gerencia de Medio Ambiente  
**Fundación Chile**

Noviembre de 2007

# 1 Presentación

---

El presente documento corresponde al Informe Final del Proyecto “Consultoría Especializada para el Cierre de Faenas Mineras” (Código 207-6185), el cual ha sido elaborado con el propósito de resumir las experiencias desarrolladas durante el periodo de ejecución del mismo.

El proyecto tiene por objetivo central, el fortalecimiento del conocimiento y de las capacidades de I&D de la Fundación Chile y de las compañías mineras participantes en el ámbito de los planes de cierre de faenas mineras y de la operación minera sustentable en general.

Los objetivos específicos son:

- Implementar un programa de consultoría especializada que aporte al desarrollo y/o aplicación de metodologías de elaboración de planes de cierres mineros, al desarrollo de actividades e investigaciones para todos los componentes de un proyecto minero y la rehabilitación de pasivos ambientales.
- Proveer entrenamiento en temas que engloba el cierre de faenas mineras, a través de visitas formativas en terreno, reuniones de trabajo o workshop y presentaciones técnicas.
- Contar con un Technical Advisory Comité (TAC), experto en cierre de faenas mineras, de alto nivel mundial.

El proyecto tiene una duración total de 5 meses, y comprende las siguientes etapas principales:

**Etapas 1:** Conceptos generales cierre faenas mineras: geoquímica ambiental, planificación, monitoreo, rehabilitación, tecnologías de innovación.

**Etapas 2:** Conceptos específicos 1: Evaluación de riesgos pasivos ambientales y tratamiento de residuos líquidos mineros.

**Etapas 3:** Conceptos específicos 2: Remediación de sitios y estabilidad física.

## Tabla de Contenido

1	Presentación .....	2
2	Etapa 1: Conceptos Generales Cierre Faenas Mineras .....	4
	Actividad 1: Visita Formativa a División Salvador .....	4
	Actividad 2: 1° Reunión TAC en División Salvador .....	5
	Actividad 3: Workshop Planificación Temprana para un Cierre de Minas Sustentable .....	7
3	Etapa 2: Evaluación de Riesgos Pasivos Ambientales y Tratamiento de Residuos Líquidos Mineros .....	10
	Actividad 1: Visita Formativa CODELCO División El Teniente y Technical Workshop .....	10
	Actividad 2: Curso "Risk assessment, toxicity of mining wastes and geochemical remediation" .....	11
	Actividad 3: Reunión Barrick / Pascua Lama .....	13
4	Etapa 3: Remediación de Sitios y Estabilidad Física .....	15
	Actividad 1: Visita Formativa Copiapó .....	15
	Actividad 2: Workshop "Rehabilitación de sitios mineros y estabilidad física de sitios mineros" .....	15
	Actividad 3: Actividades realizadas en el marco de la Conferencia Internacional Mine Closure 2007 .....	17
5	Anexos .....	20
	Anexo 1: Álbum fotográfico .....	20
	Anexo 2: Artículos Revista Écoamerica .....	26

## 2 Etapa 1: Conceptos Generales Cierre Faenas Mineras

El objetivo de la primera etapa consiste en la transferencia de conocimientos y tecnologías asociadas a los siguientes conceptos:

- Geoquímica ambiental aplicada al cierre de faenas aplicada en la caracterización de residuos de roca y lagos de rajos, basado en la combinación de antecedentes de geología, geología económica de los yacimientos, geoquímica de ambientes acuosos y su familiaridad con las técnicas de minería históricas y modernas. Predicciones a largo plazo del comportamiento de residuos de roca para este tipo de yacimiento mineral.
- Monitoreo ambiental para cierre de faenas mineras
- Rehabilitación de sitios mineros
- Planificación de cierre de faenas mineras
- Diseño de obras de cierre
- Geotecnia ambiental y manejo de residuos mineros
- Ciclo de vida minero

Para cumplir con estos objetivos se realizaron las siguientes actividades:

1. Visita formativa a CODELCO, División El Salvador (DSAL), Provincia de Chañaral, III Región
2. 1° Reunión Technical Advisory Comité (TAC)
3. Workshop “Planificación Temprana para un Cierre de Minas Sustentable”

En el marco del proyecto “Consultoría Especializada para Cierre de Faenas Mineras” se ha conformado el Technical Advisory Comité (TAC), conformado por los siguientes expertos internacionales:

- Dr. Ronald Schmiermund; Colorado School of Mines / E.E.U.U.
- Dr. David Mulligan; University of Queensland / Australia
- Dr. Dirk van Zyl; Universidad de Nevada / EE.UU.

Las actividades realizadas cada uno de los días se presenta en detalle a continuación.

### **Actividad 1: Visita Formativa a División Salvador**

En el marco de la primera etapa del proyecto “Consultoría Especializada para el Cierre de Faenas Mineras” se realizó una visita formativa con los expertos internacionales, a la División El Salvador de CODELCO, en la Provincia de Chañaral en la III Región, los días 7, 8 y 9 de mayo del 2007.

Las principales actividades de ésta, fueron:

- a) La presentación de los expertos internacionales y sus actividades en los centros universitarios a los cuales pertenecen (Colorado School of Mines, University of Nevada y University of Queensland).
- b) Profesionales de DSAL expusieron los siguientes aspectos relevantes de su faena a los expertos internacionales:
  - Hidrogeología
  - Clima
  - Suelo
  - Residuos mineros
  - Tranques de relaves
  - Geología

- c) Se realizó una visita técnica al tranque de relaves Pampa Austral, botaderos (pilas de lixiviación, botaderos de estéril y otros) y al rajo.



Fotografía 1. Participantes Visita Formativa División Salvador



Fotografía 2. Hugo Henríquez (Codelco), Dr. Ron Schmiermund y Dr. Dirk van Zyl en División Salvador

### **Actividad 2: 1° Reunión TAC en División Salvador**

En el marco de la 1° Reunión del Technical Advisory Comité (TAC) se organizó un Workshop de Monitoreo Ambiental para la División Salvador-Codelco, donde se expusieron temas como:

- Monitoreo ambiental actual de la División El Salvador
- Monitoreo ambiental post cierre y presentación de Software Phoenix
- Discusión de criterios de monitoreo post cierre para la División Salvador

Luego, se llevó a cabo una discusión entre los expertos internacionales y profesionales y ejecutivos de DSAL, en temas relevantes para dicha faena, tales como:

- Evaluación de la planificación y estrategia de cierre de DSAL
- Geoquímica Ambiental aplicada en DSAL
- Infiltración en Pilas de Lixiviación de DSAL
- Drenaje a largo plazo de tranque de relave Pampa Austral
- Monitoreo post cierre en DSAL
- Planificación de próximas actividades para DSAL



Fotografía 3. 1° Reunión TAC en División Salvador  
Dr. David Mulligan; Dr. Ronald Schmiermugn; Dr. Dirk van Zyl



Fotografía 4. 1° Reunión TAC en División Salvador

A continuación se presentan las observaciones y recomendaciones realizadas por el TAC, luego de conocer en terreno las principales instalaciones de División Salvador y de conocer a través de un taller de trabajo los aspectos relevantes de la misma.

**Observaciones:**

- Línea de base ambiental provisional incompleta
- Falta balance de agua del sitio completo
- Modelo hidrogeológico incompleto
- Poca información sobre geoquímica de aguas subterráneas aguas abajo de los botaderos de estériles y rípios.
- Se espera a que por lo menos un rajo sea inundado
- Se espera que las aguas del rajo serán impactadas por drenaje ácido (oxidación de mineral hipógeno)
- Se espera que la alteración hidrotermal podría impactar el agua (anhidrita primaria y gypsum)
- Se espera que los cloruros sulfurosos de cobre secundario y silicatos controlen la solubilidad del cobre en las gravas
- Falta información de la química del afluente de campamento antiguo
- Falta información de la química de la infiltración de rípios
- Falta información de distribución de metales traza en mineral hipógeno
- Falta información sobre metales traza en relaves (sólido y sobrenadante)
- Falta información de lixivialidad de rípios

Finalmente, se presenta a continuación un resumen de los pasos a seguir previos al cierre y las posibles medidas de cierre recomendadas por el TAC, para cada instalación.

Instalación	Pasos a seguir previos al cierre	Posibles Medidas de Cierre
Rajos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Damiana</li> <li>▪ Campamento Antiguo</li> <li>▪ Quebrada M.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudio geotécnico enfocado a los riesgos físicos (Rajos diseñados para operación)</li> <li>▪ Mapa geoquímico de los rajos (Gechemistry map of the pits)</li> <li>▪ Evaluar posibilidad de depositar materiales en el rajo</li> <li>▪ Analizar calidad de agua en el rajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cerrar accesos</li> </ul>
Mina subterránea y cráter	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inventario de lo que hay en el interior de la mina</li> <li>▪ Determinar uso futuro de la mina subterránea (lixiviación del cráter)</li> <li>▪ Determinar área de subsidencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cerrar accesos</li> <li>▪ Recuperar todo posible del interior de la mina</li> <li>▪ Cercar todo el área de la faena minera</li> </ul>
Zanja de relave	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudio de presencia de relave dentro y fuera del canal y lugares de acumulaciones</li> <li>▪ Evaluar medidas de cierre para canal antiguo</li> <li>▪ Evaluar posibilidad de vender material de los "Mini-Tranques" / Análisis químico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejorar forma del canal (tipo v), mejorar ángulos</li> <li>▪ Rellenar con material de excavación original</li> <li>▪ "Mini Tranques": devolver el material a la zanja de relaves o cubrirlos</li> </ul>

Instalación	Pasos a seguir previos al cierre	Posibles Medidas de Cierre
Tranque de Relave Pampa Austral	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hacer evaluación minera</li> <li>▪ Evaluar alternativas de cubrir el tranque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Señalización</li> <li>▪ Evitar que no quede agua en el largo plazo</li> <li>▪ Tener guardia durante el periodo que el tranque todavía tenga agua</li> <li>▪ Educar a población</li> <li>▪ Sacar geomembranas visibles</li> </ul>
Otras	Campaña educativa a la comunidad	

### **Actividad 3: Workshop Planificación Temprana para un Cierre de Minas Sustentable**

El día 10 de mayo del 2007 se realizó el Workshop "Planificación Temprana para un Cierre de Faenas Mineras Sustentable" en Santiago. El programa del workshop incluyó las siguientes actividades:

HORARIO	ACTIVIDADES	RELATOR
08:00 – 08:15	Acreditación	
08:15 – 08:30	Bienvenida Fundación Chile	Juan Ramón Candia, Director Programa ER&RA, Fundación Chile.
08:30 – 10:00	Planificación Temprana para un Cierre Faenas Mineras Sustentable.	Dirk Van Zyl, Director Mining Life Cycle Center, Universidad de Nevada
10:00 – 10:15	Coffee Break	
10:15 – 11:45	Geoquímica ambiental aplicada a cierre de faenas mineras	Ronald Schmiermund, Profesor asociado, Colorado School of Mines
11:45 – 13:15	Rehabilitación de sitios mineros y monitoreo post-cierre	David Mulligan, Director CMLR, Universidad de Queensland
13:15 – 14:15	Almuerzo	
14:15 – 15:00	Caso N°1: Escurrimiento de pilas de lixiviación y drenaje a largo plazo de tranques de relaves	Dirk Van Zyl, Director Mining Life Cycle Center, Universidad de Nevada
15:00 – 15:45	Caso N°2: Desarrollo de solución costo efectiva para rehabilitación de sitios mineros contaminados y disposición de residuos mineros	Ronald Schmiermund, Profesor Asociado, Colorado School of Mines
15:45 – 16:30	Caso N°3: Monitoreo Post-cierre	David Mulligan, Director CMLR, Universidad de Queensland
16:30 – 17:00	Coffee Break	
17:00 – 17:45	Panel de Discusión	Dirk Van Zyl, Ron Schmiermund, David Mulligan
17:45 – 18:00	Cierre	Juan Ramón Candia, Director Programa ER&RA, Fundación Chile

El workshop tuvo una participación de 19 participantes tanto del sector público minero como del sector privado minero:

Apellidos	Nombre	Organización	Giro
Núñez	Cristián	Xstrata Chile S.A.	Exploración Minera
Oyaneder	Patricio	Codelco chile – División Teniente	Gran Minería
Ramírez P.	Cristóbal	Compañía Minera Xstrata LomasBayas	MINERIA
Valdivieso	José Antonio	Sernageomin	Servicio Público
Rojas	Rene	Sernageomin	Servicio Público
Lira A.	Leslie	Gestión Ambiental Consultores	Asesorías Ambientales
Defranchi	Silvia	COMPAÑÍA MINERA BARRICK CHILE LTDA	MINERIA
Morales L	Arturo	Codelco chile – División Teniente	MINERIA
Carranza	Enzo	Codelco chile – División Teniente	MINERIA
Aguirre Z.	Fernando	Dirección General de Aguas Ministerio de Obras Públicas	Servicio Público
Castro A	Pablo	Minera El tesoro	MINERIA
Ibañez	Jaime	Minera El tesoro	MINERIA
Quiroz	Mauricio	Arcadis Geotecnica	Servicio de Ingeniería
Echeverría	Alicia	OPS	Asesorías y Consultoría
Campos	Alex	OPS	Asesorías y Consultoría
Bruce	Mack	Compañía Minera Nevada Ltda.	MINERIA
Carmen Gloria	Dueñas	Fundación Chile	Transferencia Tecnológica
Angela	Oblasser	Fundación Chile	Transferencia Tecnológica
Karien	Volker	Fundación Chile	Transferencia Tecnológica



Fotografía 5. “Planificación Temprana para un Cierre de Faenas Mineras Sustentable” Dr. David Mulligan, Dr. Dirk van Zyl y Dr. Ronald Schmiermund

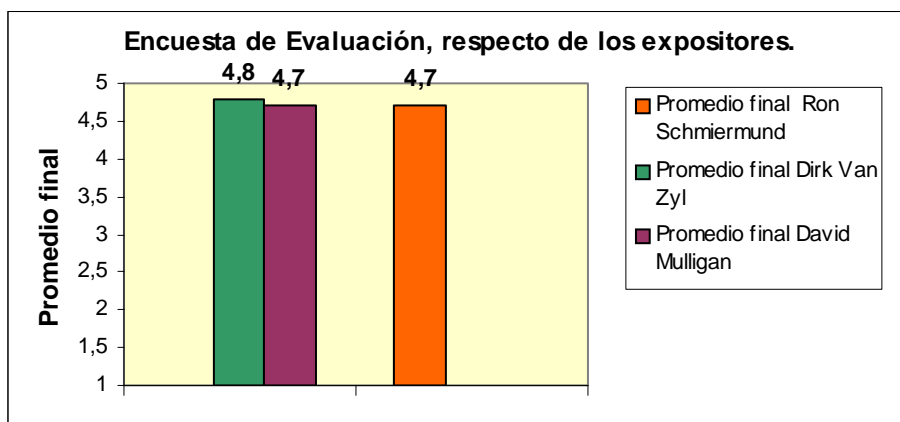
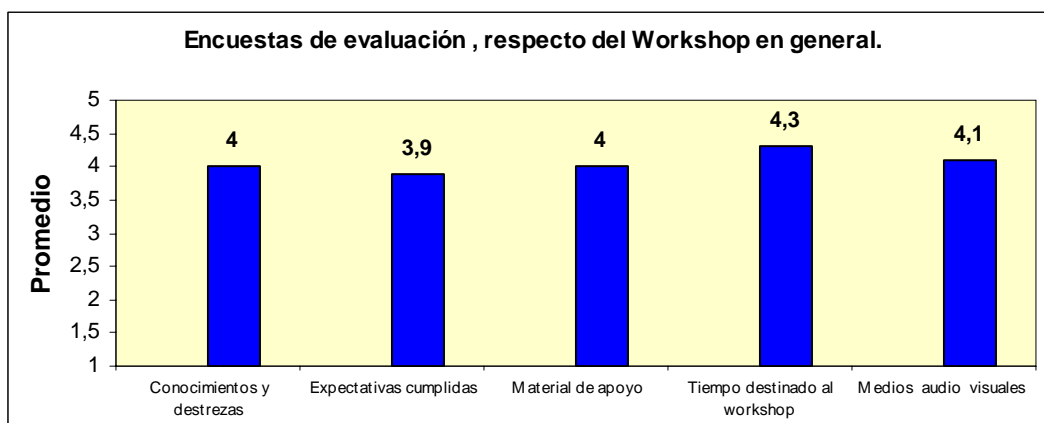


Fotografía 6. “Planificación Temprana para un Cierre de Faenas Mineras Sustentable”

A continuación se detallan los resultados de la encuesta de evaluación del Workshop, realizada por los participantes del mismo. Esta encuesta tiene por objetivo evaluar ciertos parámetros generales del Workshop en general, como también del desempeño de los expositores.

Se entregaron las encuestas al final del Workshop. En total fueron 17 personas las encuestadas, que debían responder 14 preguntas según los siguientes criterios:

- 1= Muy Malo
- 2= Malo
- 3= Regular
- 4= Bueno
- 5= Muy bueno



En el Anexo 1 se adjunta un artículo publicado en la revista Ecoamérica sobre el Workshop.

### *3 Etapa 2: Evaluación de Riesgos Pasivos Ambientales y Tratamiento de Residuos Líquidos Mineros*

---

El objetivo de la segunda etapa consiste en la transferencia de conocimientos y tecnologías asociadas a los siguientes conceptos:

- Evaluación de Riesgos de Pasivos Ambientales Mineros
- Tratamiento de Aguas influenciadas por la Actividad Minera
- Evaluación de Impactos por Toxicidad Potencial

Para cumplir con este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

1. Visita Formativa División El Teniente y Technical Workshop en Rancagua en la División El Teniente de CODELCO
2. Curso "Risk assessment, toxicity of mining wastes and geochemical remediation"
3. Visita Técnica Barrick – Pascua Lama

Los expertos participantes en esta etapa fueron:

- Dr. James Ranville, Especialista en Toxicología de Metales; Colorado School of Mines
- Dr. Thomas Wildeman, Especialista en Ingeniería Geoquímica, Colorado School of Mines

Las actividades realizadas en esta etapa sufrieron una modificación respecto del plan original. La Visita Formativa a Chañaral y el Workshop Evaluación de Riesgos Pasivos Ambientales en Salvador, fueron reemplazados por la Visita Formativa y el Technical Workshop realizados en la División El Teniente de CODELCO. Este cambio corresponde a que por razones de fuerza mayor fue imposible visitar Chañaral y al fuerte interés manifestado por representantes de la División El Teniente de Codelco frente a sus problemas asociados a las aguas de los túneles influenciadas por la minería y de Bruce Mack, Gerente de Medio Ambiente para la Faena Minera Pascua Lama de Barrica.

Las actividades realizadas en esta etapa se presenta en detalle a continuación.

#### ***Actividad 1: Visita Formativa CODELCO División El Teniente y Technical Workshop***

El día 23 de julio del 2007 se realizó una visita formativa a la División de El Teniente de CODELCO con el objetivo de ver posibles soluciones para el tratamiento pasivo de las aguas ácidas influenciadas por la actividad minera, proveniente de los túneles.

Codelco División El Teniente está planificando expandir sus operaciones. Para llevar a cabo dicha expansión considera emitir considerables flujos de agua desde los túneles y desde las instalaciones de procesamiento de mineral para ser tratados.

Actualmente, los planes son construir dos sistemas de tratamiento activo de agua que costarán sobre 10.000.000 de dólares y que tendrán un presupuesto de mantención anual por sobre 1.000.000 de dólares. De esta manera, Codelco División El Teniente está abierto a cualquier programa de implementación de tecnologías de tratamiento pasivo que reduzca estos costos de inversión y operación.

Los expertos del Colorado School of Mines recomendaron desarrollar un tratamiento pasivo en Codelco Teniente, que reducirá los costos de inversión del tratamiento activo y será un proceso más sustentable. Específicamente recomendaron el desarrollo de las siguientes actividades:

- Identificar y caracterizar materiales de bajo costo que puedan ser usados en tratamiento pasivo. Conducir una investigación de fuentes locales de materiales orgánicos tales como compost de residuos agrícolas y residuos forestales. También determinar la fuente más

cercana de caliza y cal. Finalmente, identificar buenas fuentes de inoculación para estudios de laboratorio y recolectar muestras representativas de los materiales más apropiados.

- Identificar aguas en el Teniente que sean usadas como mejor candidatas para tratamiento pasivo. Revisar la química y los flujos provenientes de varias fuentes de agua del Teniente para determinar los mejores candidatos para tratamiento pasivo.
- Diseñar y llevar a cabo un programa a escala de laboratorio que determine la mejor mezcla de sustrato y aguas para ser usadas en un programa a pequeña escala.
- Diseñar y establecer los objetivos y costos para un programa a pequeña escala que será evaluado por Codelco para determinar si se procede a la siguiente etapa.

## **Actividad 2: Curso "Risk assessment, toxicity of mining wastes and geochemical remediation"**

Los días 24 y 25 de Julio 2007 se realizó en Santiago el Curso "Risk Assessment, Toxicity of Mining Wastes and Geochemical Remediation". El programa del curso se detalla a continuación:

<b>HORARIO</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>RELATOR</b>
<b>24 de Julio del 2005</b>		
<b>09:00-13:00</b>	A. Overview: Closure, Assessment, Reclamation, and Remediation	Thomas Wildeman
	B. Review of Geochemical Concepts <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquatic/Sediment Chemistry</li> <li>• Generation of Mining Influenced Water Bioavailability Concepts</li> </ul>	James Ranville y Thomas Wildeman
	C. Biotic Ligand Model: Application to Water Quality Criteria and Soil	James Ranville
	D. EPA Metals Risk Assessment Framework	James Ranville
<b>14:00-17:00</b>	E. Overview of Mine Waste Assessment	Thomas Wildeman
	F. Physical Characterization of Waste Sites	Thomas Wildeman
	G. Assessing the Potential Toxicity of Waste Sites: Chemical Characterization	Thomas Wildeman
	H. Summary and Discussion	Thomas Wildeman y James Ranville
<b>25 de Julio del 2005</b>		
<b>09:00-12:00</b>	A. Overview: Closure, Assessment, Reclamation, and Remediation	Thomas Wildeman
	B. Waste pile and water sampling and analysis	James Ranville
	C. Simple Methods for Aquatic Toxicity Assessment	James Ranville
	D. Case Studies for Assessing Aquatic Toxicity of Mining Materials	James Ranville
	E. Summary and Discussion of Assessment and Bioavailability	Thomas Wildeman y James Ranville

<b>13:00-18:00</b>	F. Geochemical Principles of Water Treatment	Thomas Wildeman
	G. Microbial Principles of Treatment:	Thomas Wildeman
	H. Engineering Principles, Staged Design of Systems	Thomas Wildeman
	I. Integrating Bioavailability into Remediation	James Ranville
	J. Case Studies I: Anaerobic and Aerobic Systems	Thomas Wildeman
	K. Case Studies II: Systems with Problems	Thomas Wildeman
	L. Treatment Design and Cost Estimating	Thomas Wildeman
	M. Summary and Discussion of Treatment	Thomas Wildeman y James Ranville

El curso contó con la participación de 27 representantes del sector público y privado minero. A continuación se muestra la lista de participantes.

Nº	Apellidos	Nombre	Organización
1	Contreras	Andrés	Aguas y Riles
2	Salazar	Marta	Aguas y Riles
3	Slanzi	Gino	Codelco
4	Bastidas	Maria Elena	CIMM
5	Samame	Pamela	Codelco
6	Oblasser	Angela	Fundacion Chile
7	Dueñas	Carmen Gloria	Fundacion Chile
8	Fonseca	Rocio	Fundacion Chile
9	Castillo	Macarena	Fundacion Chile
10	Volker	Karien	Fundacion Chile
11	Broschek	Ulrike	Fundacion Chile
12	Acosta	Erika	Siga Ingeniería
13	Leal	Karla	Arcadis Geotecnia
14	Curotto	Marcela	SRK Consulting Chile S.A
15	Morales	Arturo	Codelco
16	Machuca	Paulina	Codelco
17	Acuña	Alejandra	Codelco
18	Guerra	Erika	Innova
19	Honour	Richard	Revista Chilena de minería

20	Jerez	Rodrigo	Conama
21	Fernado	Aguirre	DGA
22	Paola	Ramirez	Sernageomin
23	Soraya	Nazarala	Sernageomin
24	Rojas	Patricia	Sernageomin
25	Briones	Esteban	Fundacion Chile
26	Candia	Juan Ramón	Fundacion Chile
27	Ordoñez	Eduardo	Fundacion Chile



Fotografía 7. Participantes del Curso "Risk assessment, toxicity of mining wastes and geochemical remediation"



Fotografía 8. Dr. James Ranville y Dr Thomas Wildeman

### **Actividad 3: Reunión Barrick / Pascua Lama**

El 26 de Julio del 2007 se realizó una visita técnica a las oficinas de Barrick Pascua Lama.

La Mina Pascua Lama está en el proceso de diseñar cómo empezarán sus operaciones, las cuales estarán ubicadas en territorio chileno y argentino. Con respecto a los aspectos ambientales de largo plazo, el diseño y ejecución de un programa de disposición de residuos de roca que elimine la generación de drenaje ácido es un aspecto importante de la operación. Cualquier beneficio generado durante la operación puede ser acabado después del cierre si el drenaje ácido de rocas se desarrolla dentro de las pilas de residuos.

La habilidad para enfrentar los temas de residuos de roca es una importante tecnología que debiera ser desarrollada en Chile de manera que la fuente de riqueza del mineral pueda ser generada de una manera sustentable. Los expertos del Colorado School of Mines sugieren diseñar e iniciar un programa de disposición de residuos de roca en Pascua Lama que minimice y/o elimine la generación de drenaje ácido de rocas desde las pilas.

Los objetivos específicos son:

- Identificar y estimar la cantidad de roca generadora y neutralizadora de acidez en el sitio minero.
- Estimar si los materiales ácidos y neutralizadores necesitarán ser importados al sitio.
- Diseñar la secuencia de posición y disposición para las pilas de residuos de rocas.

- Diseñar y ejecutar un programa de disposición de residuos de roca que use test analíticos simples y pueda ser usado en el día a día, basado en las operaciones mineras.

La primera etapa del programa consiste en revisar y evaluar lo que se conoce actualmente acerca de la situación de los residuos de roca en Pascua Lama y luego hacer sugerencias de lo que se necesita para llevarlo a cabo antes de empezar la disposición de residuos de roca en el sitio.

Estas actividades incluyen:

- Revisar los análisis de residuos de roca y evaluar los que fueron hechos para el Estudio de Impacto Ambiental del sitio.
- Revisar el diseño de los test de residuos de roca que están siendo conducidos en el sitio.
- Revisar e inspeccionar las áreas de disposición propuestas en el sitio.
- Preparar una lista de información específica conocida y faltante e identificar cuáles son los vacíos de información más importantes dentro del programa de disposición de residuos de roca.
- Desarrollar objetivos específicos y principales, y la agenda de actividades para la siguiente etapa del programa.

## 4 *Etapa 3: Remediación de Sitios y Estabilidad Física*

---

La etapa 3 tiene como objetivo transferir los conocimientos y tecnologías asociadas a los siguientes conceptos:

- Rehabilitación de suelos
- Geomecánica ambiental, específicamente en la gestión, transporte y disposición de residuos mineros.

Los expertos internacionales fueron:

- Dr. Mark Tibbett, University of Western Australia
- Dr. Andy Fourie; University of Western Australia

Las actividades realizadas corresponden a las siguientes:

- Visita Formativa Copiapó para SERNAGEOMIN III Región.
- Workshop “Rehabilitación de sitios mineros y estabilidad física de sitios mineros”
- Actividades realizadas en el marco de la Conferencia Internacional Mine Closure 2007.

Debido a problemas internos de la Faena Minera Xstrata Lomas Bayas, se cambió las actividades planteadas originalmente por una visita formativa para Sernageomin III Región, a los tranques de relaves de Copiapó y por un Workshop en la misma ciudad.

La visita formativa de los expertos de la Universidad de Western Australia, realizada el día 11 de octubre del 2007, fue acompañada por la encargada de seguridad y medio ambiente del Sernageomin de la III Región. Se visitaron diferentes faenas mineras, entre ellos la Planta de Ojancos, el sector de Cuesta Cardones, la Planta M.A. Matta de Enami y el sector Viñita Azul, con el objetivo de conocer más en detalle los problemas ambientales relacionados con la pequeña y mediana minería, predominante en la III Región.

### ***Actividad 1: Visita Formativa Copiapó***

En el marco de la visita formativa a Copiapó se realizaron las siguientes actividades:

- Visita de la planta Ojancos (vista de dos tranques de relaves abandonados en el sector de la planta y visita de dos edificios de almacenamiento)
- Visita del sector Cuesta Cardones (Tranques de relaves operativos y abandonados de la pequeña minería)
- Visita de la planta M. A. Matta de ENAMI (Visita del Tranque de Relaves N° 2 reforestado y vista del Tranque de Relaves N° 3)
- Visita del sector Viñita Azul (Tranques de Relaves abandonados y en operación en la cuenca del río Copiapó)

### ***Actividad 2: Workshop “Rehabilitación de sitios mineros y estabilidad física de sitios mineros”***

El día 12 de octubre del 2007 se realizó en la sede del Sernageomin de la III Región el Workshop “Rehabilitación de Sitios Mineros y Estabilidad Física de Sitios Mineros”. Las actividades del workshop se detallan a continuación:

HORARIO	ACTIVIDADES	RELATOR
09:00 – 09:30	Innovaciones Tecnológicas en Cierre de Faenas Mineras - Fundación Chile	Angela Oblasser, Fundación Chile.
09:30 – 10:00	Minimising Closure Costs by Integrating Incremental Rehabilitation into Mining Operations	Dr. Andy Fourie
10:00 – 10:30	Geomechanics Risks in Mine Tailings	Dr. Andy Fourie
10:30 – 11:00	Thickened Tailings as a New Tailings Management Option	Dr. Andy Fourie
11:00 – 11:10	Preguntas a Andy Fourie	
11:10 – 11:30	Coffee Break	
11:30 – 12:00	Optimising the Success of Covers through Experimentation and Planned Rehabilitation	Dr. Mark Tibbett
12:00 – 12:30	Biological and Nutritional Considerations for Successful Covers Rehabilitation	Dr. Mark Tibbett
12:30 – 12:40	Preguntas a Mark Tibbett	
12:40 – 13:00	Palabras de Cierre	Pedro Hiplan, Director Sernageomin III Región

El workshop contó con la participación de 29 representantes del sector público y privado minero. La siguiente tabla indica los participantes.

Nº	Apellidos	Nombre	Organización
1	Almendarés Aguilera	Claudia	CIMM
2	Arancibia Fuenzalida	Claudia	Codelco Chile - División Salvador
3	Avaria Rey	Félix Patricio	CONAF
4	Azola	Claudia	ENAMI
5	Bastias Orellana	Rubén	ENAMI - Fundación Hernán Videla Lira
6	Castelleto Tassara	Víctor	Compañía Minera del Pacífico
7	Castro	Alejandro	Empresa constructora BELFI S.A.
8	Celedón	Carlos	Hidronor Chile S.A
9	Cortes Casanova	Elizabeth	SERNAGEOMIN
10	Cuevas Cisternas	Elizabeth	ENAMI - Planta Manuel Antonio Matta Ruiz
11	García Fuentes	Ernesto Roberto	COEMIN S.A
12	Hiplan Julio	Pedro	SERNAGEOMIN
13	Lodi Johnson	Luis José	Minera Lúmina Copper Chile S.A.
14	López Delgado	Fidel Alberto	IMOPAC LTDA.
15	Mercado Mercado	Carlos	SERNAGEOMIN
16	Mercado Weage	Elzanna Margaret	SERNAGEOMIN
17	Mondaca Castro	Michael	Sociedad Contractual Minera Carola

18	Olmos Naranjo	Hugo	IOM. Servicios Geotécnicos y Geomecánicos
19	Palma Gonzalez	Juan Humberto	Pontificia Universidad Católica de Valparaiso
20	Ponze	Jorge	Compañía Minera del Pacífico
21	Quiroz	Pedro	Empresa constructora BELFI S.A.
22	Robledo	Yanine	S.C.M Atacama Kozan
23	Rojas	Ernesto	S.C.M Atacama Kozan
24	Rojas Carmona	Claudia Lorenza	Seremi Salud Atacama
25	Romero Monroy	Pamela Alejandra	Universidad de Atacama - IDITEC
26	Suazo Sol	Juan Antonio	Dirección de Vialidad
27	Valenzuela Toro	Pamela Isabel	Pontificia Universidad Católica de Valparaiso
28	Vejar Pardo	Andrés	Analytica Chañar
29	Veraguas Bordoli	Patricia	SERNAGEOMIN



Fotografía 9. Participantes del Workshop "Rehabilitación de sitios mineros y estabilidad física de sitios mineros"



Fotografía 10. Dr. Andy Fourie; Workshop "Rehabilitación de sitios mineros y estabilidad física de sitios mineros"

### **Actividad 3: Actividades realizadas en el marco de la Conferencia Internacional Mine Closure 2007**

Del 16 al 19 de octubre del 2007 se realizó la Conferencia Internacional Mine Closure 2007, la cuál reunió más de 400 expertos nacionales e internacionales de mas de 26 países en Santiago.

Los dos expertos Dr. Andy Fourie y Dr. Mark Tibbett precedieron esta Conferencia como fundador e iniciador de la primera conferencia, la cuál se ha realizado el año 2006 en Perth Australia.

Fundación Chile organizo en el marco de esta conferencia el curso "Mine Waste Characterization" de dos días (15 y 16 de octubre del 2007) con Dr. Ronald Schmiermund como instructor.

La siguiente tabla muestra el programa de este curso.

Horario	Actividades	Contenidos
<b>Lunes, 15 de Octubre de 2007</b>		
07:30-08:30	Registration	
08:30-10:00	Overview and Purposes of Solid Mine Wastes Characterization. Fundamentals of Weathering and Acid Rock Drainage Production	2a. Oxidation of iron sulfide minerals 2b Involvement of bacteria 2c Effect of acid conditions on mineral dissolution and metal solubility
10:00-10:20	Coffee break	
10:20-12:30	Static Acid-Base Accounting (Part 1)	3a Objectives 3b Sulfur speciation and prediction of acid-producing potential 3c Measurements of total sulfur and sulfur speciation
12:30-13:45	Lunch	
13:45-15:10	Static Acid-Base Accounting (Part 2)	3d Complications to interpretation of acid-producing potential 3e Estimation of acid-neutralization potential 3f Complications to measurement of acid 3g Calculation of net acid-neutralizing Potential
15:10-15:30	Coffee break	
15:30-17:30	Static ABA Case Studies (to be determined)	4a Cu-Au Porphyry involving alunite 4b Tailings containing siderite 4c Primary anhydrite and secondary gypsum Kinetic Testing (Part 1) 5a Principals, objectives and expectations of kinetic testing
<b>Martes, 16 de octubre del 2007</b>		
08:30-10:00	Kinetic Testing (Part 2)	5b Conventional bench-top humidity cells 5c Large-scale humidity cells
10:00-10:20	Coffee break	
10:20-12:30	Kinetic Testing (Part 3)	5d Field-scale weathering experiments 5e In-situ analog weathering experiments 5f Customized humidity cells for fine-grained materials 5g Interpretation of humidity cell data 5h Extrapolation of humidity cell rates to the field
12:30-13:45	Lunch	
13:45-15:10	Kinetic Testing Case Studies	
15:10-15:30	Coffee break	
15:30-17:10		7a Regulatory vs. Predictive purposes for leachability prediction 7b TCLP method 7c SPLP and MWMP methods

		7d Custom leachability and column testing 7e Batch methods for estimating leachability and attenuation
17:10-17:30	Course Evaluations. Provision of course diplomas.	

## 5 Anexos

### Anexo 1: Álbum fotográfico

#### a. Etapa 1: Visita a terreno TAC



b. Etapa 1: Primera Reunión TAC



c. Etapa 1: Workshop Planificación Temprana para un Cierre de Minas Sustentable



d. Etapa 2:



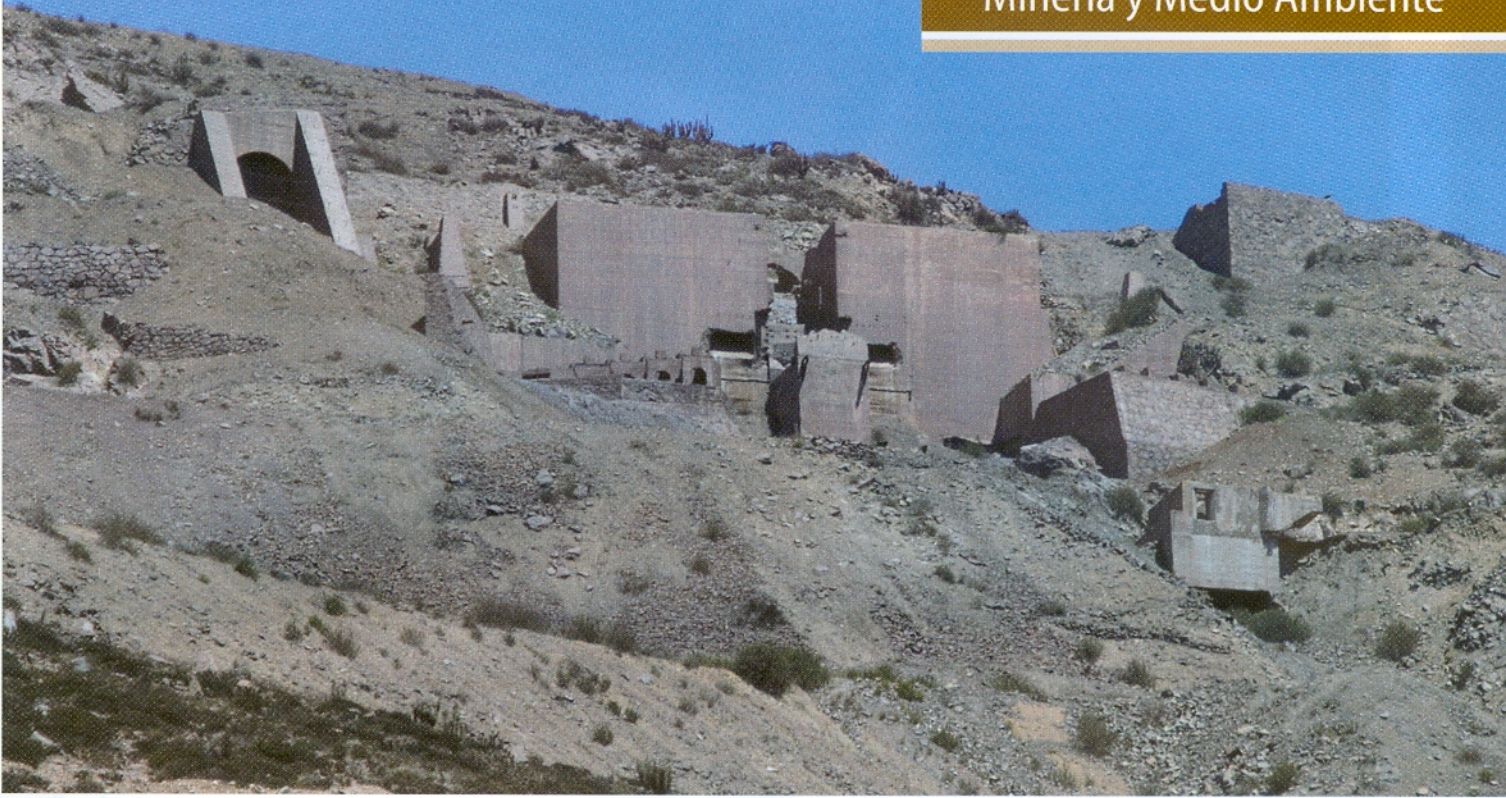
e. Etapa 3: Visita a terreno Copiapó



f. Etapa 3: Workshop “Rehabilitación de sitios mineros y estabilidad física de sitios mineros”



*Anexo 2: Artículos Revista Écoamerica*



## Experto Dirk van Zyl en seminario internacional: **“Una mina es un puente entre las condiciones preexistentes y el fin de su vida útil”**

El cierre de minas es un tema que cobra relevancia en Chile, que se prepara para enfrentar situaciones hasta ahora prácticamente inéditas en un escenario en que adquieren cada vez mayor importancia los aspectos ambientales y sociales.

dealmente, el proceso de cierre de una mina tiene que comenzar en una etapa tan inicial como en la exploración y el estudio de factibilidad. Pero, ¿cómo se enfrenta este proceso y qué curre cuando un yacimiento ha sido explotado durante un largo período? Estos tópicos fueron parte de las exposiciones y discusiones que se desarrollaron en torno del encuentro de trabajo internacional “Planificación temprana para un cierre de faenas mineras sustentable”, organizado por [Fundación Chile](#).

El programa de trabajo reunió, entre otros, a los especialistas estadounidenses Dirk van Zyl, director del Mining Life Cycle Center de la Universidad de Nevada, Ronald Schmiermund, profesor asociado del Colorado School of Mines y al experto australiano David Mulligan, director del Center for Mining Land Rehabilitation, de la Universidad de Queensland.

El grupo, además de realizar un taller en Santiago junto a los profesionales de [Fundación Chile](#) y representantes de empresas mineras, efectuó una vi-

sita a la División El Salvador de Codelco, en la III Región, yacimiento cuya explotación finalizará en el año 2011. Es probable que esta mina se convierta en un laboratorio que aporte información valiosa para una serie de procesos similares que deberá enfrentar el país en los próximos 20 ó 30 años.

### Cierre temprano

Si bien el concepto de cierre temprano de una mina parece tener cierta lógica, sus alcances recién se cono-



cen gracias a las investigaciones y las experiencias de los últimos años. En los hechos, tanto en nuestro país como en gran parte del mundo las minas en explotación cuentan con planes de cierre muy básicos y son pocas las que están enfrentando esta etapa como un proceso continuo, que comienza mucho antes de que se agoten las reservas mineras.

Para Dirk van Zyl, si una mina no comenzó su cierre de manera temprana, tiene que empezar a hacerlo hoy

mismo. El acercamiento a los planes de cierre, explica el experto de la Universidad de Nevada, es distinto si se trata de una mina en proyecto o una cerrada. En el primer caso, el cierre debe estar presente desde las primeras etapas y debe ser parte integral del diseño de la mina, con un programa que tiene que ser revisado al menos cada tres años, de manera que responda a los cambios propios de desarrollo del proyecto.

“En el caso de un yacimiento que está siendo explotado, el plan de cierre no puede esperar, debe realizarse lo antes posible. Hay que considerarlo tan urgente como el cálculo de las reservas mineras”. Aunque un inicio tardío de un plan puede significar mayores costos, el experto hace notar que siempre se pueden aprovechar las instalaciones y operaciones en que se encuentran funcionando.

Cuando se enfrenta el cierre de una mina, las experiencias, tanto nacionales como internacionales tienen que ser tomadas sólo como antecedentes, ya que cada sitio es único y está inmerso en una realidad social que también es única. Dirk van Zyl señala que la única forma de adquirir experiencia es haciendo todas las etapas del cierre, aunque se atreve a señalar una regla común: generalmente, el costo de cierre es mayor al que la empresa estimó en sus inicios.

#### Desarrollando un cierre

Para que el cierre de una mina sea exitoso, explica el experto estadounidense, es fundamental que su diseño considere objetivos específicos y criterios, sean éstos los establecidos en la legislación del país, los corporativos o los resultados que esperan los distintos grupos de interés respecto del programa que desarrolla la empresa.

Para que los objetivos del cierre se cumplan, van Zyl recomienda dividir la mina en instalaciones específicas (tranque de relaves, instalaciones de lixiviación, piques, etc.), desarrollando criterios de cierre independientes, ya que “es mucho más sencillo realizar el cierre de un área que de un conjunto de instalaciones”. Luego de completar el cierre de todas las instalaciones, es necesario integrarlas para asegurarse que existe consisten-





**Tecnología de Materiales**




**“Soluciones integrales en Terreno”**

- Geomembranas
- Geosintéticos
- Suministros de HDPE
- Instalaciones



Tecnología de Materiales  
15 años desarrollando soluciones a medida

Coronel Pereira 72 Of. 202,  
Las Condes, Santiago – Chile  
Fono: (56-2) 228 1585  
Fax: (56-2) 263 5890  
fgopfert@tdm.cl  
[www.tdm.cl](http://www.tdm.cl)



De izquierda a derecha, David Mulligan, director del Center for Mining Land Rehabilitation, de la Universidad de Queensland; Dirk van Zyl, director del Mining Life Cycle Center de la Universidad de Nevada, y Ronald Schmiermund, profesor asociado del Colorado School of Mines.

cia entre las distintas partes y puedan ser gestionadas de manera integral.

### **Cierre sustentable**

Para van Zyl el cierre de una mina puede contribuir de manera efectiva al desarrollo sustentable a través, por ejemplo, de programas de capacitación de los empleados en nuevas habilidades; el traspaso de algunas instalaciones a la comunidad y en la búsqueda de nuevos usos de la mina, aspectos que tienen que ser considerados en el diseño del plan de abandono.

Si una empresa pretende que su programa de cierre sea sustentable, es relevante que los grupos de interés estén integrados en las etapas iniciales del diseño, de manera que los criterios sean conocidos y compartidos. Sobre este particular, van Zyl hace notar que para los yacimientos explotados durante 40 años o más, los grupos de interés van a ser distintos entre el momento del inicio de las operaciones y cuando éstas entran en la etapa final del cierre. "En la medida que una mina se desarrolla, también cambian las expectativas de los diferentes grupos de interés, por lo que es necesario mantener canales de comunicación permanentes que den cuenta de estas transformaciones, las que deben reflejarse en las modificaciones del diseño que conduzcan al cierre de la mina".

Especial cuidado, según destaca van Zyl, hay que tener con los pueblos mineros en áreas remotas, donde existen muy pocas posibilidades de diversificación. En estos casos explica que es muy probable que la mayor parte de los habitantes opten por abandonar el lugar cuando deje de existir la principal o tal vez la única fuente de trabajo, hecho que tiene que ser considerado en el diseño del abandono.


Si se pretende que un abandono cumpla las exigencias de los distintos grupos de interés, es preciso que se desarrolle una cultura de cierre de la operación, pensando siempre que la mina es un puente entre las condiciones existentes antes del inicio de los trabajos y las que ocurrirán al final del cierre de una explotación. Hace notar que el cierre debe ir mucho más allá de una mitigación y tiene

que ser realizado para mantener o incluso mejorar las condiciones del lugar, por lo menos en los aspectos que sea posible.

De acuerdo a la experiencia de van Zyl, una cultura de cierre se desarrolla cuando los ejecutivos de una mina comprenden el gran gasto de tiempo, esfuerzo y costo asociado con esta etapa. "En la medida que se desarrollan actividades de cierre durante la operación, el costo total siempre va a ser menor".

Para que una cultura de cierre cumpla con sus objetivos, es necesario introducir incentivos a la gestión orientada a este propósito. "Si se recompensa a los empleados para producir, ellos van a producir. Si se los recompensa por incorporar una actitud y una cultura de cierre, ellos van a hacer una buena gestión para el cierre", señala van Zyl.

El profesional recalca que los planes de cierre deben ser revisados de manera regular, cada 3 ó 5 años, adecuándose a la legislación o según las necesidades que va detectado la empresa. Para que este proceso sea útil, en forma paralela a la operación deben realizarse campañas de obtención de datos (precipitaciones, caracterización de relaves para determinar su potencial de drenaje ácido,

etc.) y estudios piloto (catastros actualizados de flora y fauna, evaluación de resistencia y tiempo de vida de las geomembranas, entre otros). Según el especialista, los grupos de interés, especialmente las poblaciones aledañas, deben conocer la información que determina el modelo de cierre, a la vez que sus representantes tienen que ser parte activa de estas tareas, que tienen como propósito asegurar que el fin de la minería no signifique una menor calidad de vida en el lugar. 

## Cierre y medio ambiente

**¿Por qué considerar problemas ambientales en forma temprana en un cierre de minas?**

Para Ronald Schmiermund, profesor asociado del Colorado School of Mines, una parte importante de los problemas ambientales en sitios mineros tiene su origen en las decisiones realizadas en una etapa inicial del proyecto. Ello por cuanto una gran cantidad de información relevante para la toma de decisiones ambientales es obtenida durante la campaña de perforaciones y en el mapeo del lugar. "La ciencia entrega claves de largo alcance sobre lo que ocurrirá durante la explotación de un yacimiento. Y mientras más información se obtenga a partir de las primeras etapas, las decisiones serán mucho más acertadas".

Según Schmiermund, existen varios ejemplos en que esta información de etapas preliminares fue subestimada y los problemas que surgieron de manera posterior afectaron seriamente el desarrollo del proyecto, con implicancias técnicas y económicas. Explica el caso de un depósito de cobre porfídico de Ecuador en que los sondeos y análisis estuvieron centrados en la zona mineralizada y no se testeó gran parte de material de la periferia. Una vez iniciada la operación se comprobó que esta roca presentaba un alto potencial de drenaje ácido, lo que obligó a la empresa a enfrentar costos adicionales para una disposición especial de este material.

El experto explica que la evaluación convencional de un yacimiento pone énfasis en costos y riesgos clásicos, como las reservas minables, la ley del mineral, costos de energía y de conminución, de transporte, pero no existe una tradición por una evaluación paralela de aspectos sociales y ambientales. Y en algunos casos se ha demostrado que estos factores tienen la misma importancia que los otros parámetros y que de ellos puede depender el éxito o fracaso de un proyecto.

Esta disociación, para Schmiermund, determina que frecuentemente las soluciones surgen una vez que el problema se presenta, con los trabajos a plena marcha y con gran parte de las decisiones ya tomadas y los costos conocidos asumidos. En este escenario, "las propuestas son poco realistas o mal concebidas, y escasamente pueden mitigar los impactos que origina el problema". Para el experto, lo mejor siempre será "usar la información para anticipar".



MOPLA

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN





SUMINISTRO Y MONTAJE  
DE MATERIALES GEOSINTÉTICOS

- Depósito de residuos
- Minería
- Industria
- Agrícola
- Estudios de impacto ambiental
- Movimiento de tierra
- Obras civiles
- Piping

www.mopla.cl 

MOPLA Ltda.  
Pío XI N° 1574  
Vitacura :: Santiago :: Chile :: Tel/Fax: (56 2) 724 0023