



Sir Joseph  
Swan Institute  
for energy research



Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America

Gestión de cuencas con impactos mineros  
en regiones áridas y semiáridas de Sudamérica

# *Retos de la gestión del agua en cuencas áridas con minería*

Dr Tobias S. Rötting

*Gerente del Proyecto CAMINAR*

Prof Paul L. Younger

*Coordinador Técnico de CAMINAR*

*Investigación e Extensión en Ingeniería Hidrogeoquímica (HERO)  
Universidad de Newcastle upon Tyne, Reino Unido*

Taller del Grupo de Dialogo  
Minería y Desarrollo Sostenible



Lima, miércoles 17 de septiembre del 2008



- Quién soy y quienes somos: El grupo HERO
- El proyecto CAMINAR
- Evolución de perspectivas en la minería:
  - Sobre gestión del agua
  - Sobre gestión medio-ambiental
  - Sobre el ciclo de vida de actividades mineras
- Los retos
- Influencias externas
- Respuestas
- Conclusiones

- Gerente del Proyecto CAMINAR de la Comisión Europea sobre “Gestión de cuencas con actividades mineras en regiones áridas y semiáridas de Sudamérica” (contrato EC FP6 INCO-CT2006-032539) coordinando nueve instituciones de Perú, Bolivia, Chile, España, Portugal y Reino Unido.
- Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, en Ingeniería del Terreno
- Licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad de Bayreuth, Alemania, especializado en hidrogeología y geoquímica
- Especialista en
  - Descontaminación de aguas ácidas de mina con altas concentraciones de metales
  - Modelización de reacciones químicas en aguas de mina
  - Modelización de flujo de aguas subterráneas
  - Monitoreo de contaminación ambiental



---

## ¿Quiénes somos?: El Grupo HERO

---

- Tras de 14 años de investigación y aplicación práctica en aguas de minas, el grupo HERO de la Universidad de Newcastle (R.U.) se ha convertido en el grupo más grande en esta materia en toda Europa
- HERO fue el sede de los dos proyectos de la Comisión Europea mas grandes hasta la fecha sobre aguas de minas : PIRAMID y ERMITE
- Actualmente, HERO es el sede de los dos proyectos mas importantes de la Comisión: CoSTaR y CAMINAR
- HERO es también el sede del Investigador Nacional de Aguas de Minas de la Agencia Medio-Ambiental (Inglaterra / País de Gales)

## ¿Quiénes somos?: El Grupo HERO (cont.)

- Experiencia internacional en manejo de aguas de minas:
  - Reino Unido (Río Tinto; MIRO; Anglo (Tarmac); EA; CA; Scottish Coal); España (Río Narcéa Gold Mines S.A.; ETSIMM; ETSIMO); Irlanda (Anglo Base Metals); Alemania (TUB-Freiberg); Brasil (CVRD; Banco Mundial); África del Súr (Anglo Coal); MI Intl Ltd); Canadá (Cape Breton Dev Co.; INAP; Mining Association of Canada); Nueva Zelanda (Solid Energy); Australia (Rio Tinto; AusIMM) etc.



THE QUEEN'S  
ANNIVERSARY PRIZES  
FOR HIGHER AND FURTHER EDUCATION  
2005

- En Febrero de 2005, HERO fue otorgado el **Premio Del Aniversario de la Reina para Educación Superior**, el honor mas alto del sector universitario Británico por su trabajo sostenido en 'Remediación Universal de la Contaminación de Aguas de Minas'



# El proyecto



Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America

Gestión de cuencas con impactos mineros  
en regiones áridas y semiáridas de Sudamérica

## Objetivos:

- promover el **manejo sostenible de cuencas** con actividades mineras en regiones áridas y semiáridas de Sudamérica
- contribuir al establecimiento de **opciones de políticas**, y de **estrategias y tecnologías de manejo**
- **Perú, Bolivia y Chile** como países de demostración

**Financiación:** EC FP6 INCO-CT2006-032539





- elaborar **estudios de caso en cuencas piloto**
- establecer **foros de dialogo**
- desarrollar **SIGs y herramientas de soporte de decisiones**
- elaborar **planes de manejo de cuencas**
- redactar **guías** para el manejo integral de recursos de agua y ecosistemas
- proponer **opciones de políticas**



## estudios de caso:

Río Chili  
Arequipa, **Perú**

Lago Poopó  
Oruro, **Bolivia**

Río Elqui  
La Serena, **Chile**



---

## Evolución de perspectivas en la minería

---

- Sobre gestión del agua
- Sobre gestión medio-ambiental
- Sobre el 'ciclo de vida' de las actividades mineras

- Una **molestia**
  - p. ej. informe inglés de 1858: “30 toneladas de agua por cada tonelada de mena”
- Un **mal necesario**
  - un elemento imprescindible en laboreo y beneficiación
- Un **bien medio-ambiental**

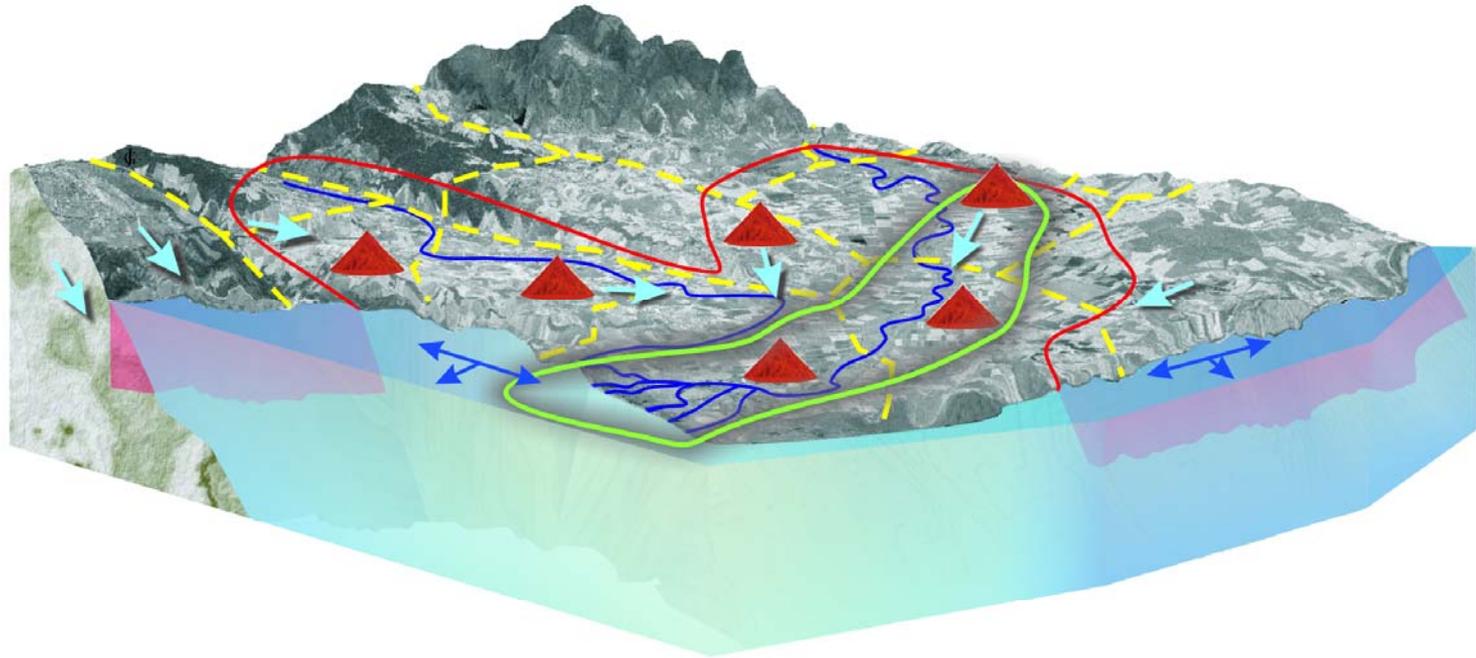
---

... sobre agua como 'un bien medio-ambiental' influido por minería

---

- Necesidad de evaluar impactos aguas abajo del 'uso' minero del agua: **EIA**
- Inserción en el manejo de cuencas hidrográficas: evaluación de los valores y **usos múltiples del agua** (tarea en progreso)
- Mas allá que la cuenca: la **huella total del uso minero de agua**, en espacio y tiempo

# La perspectiva de cuenca ...



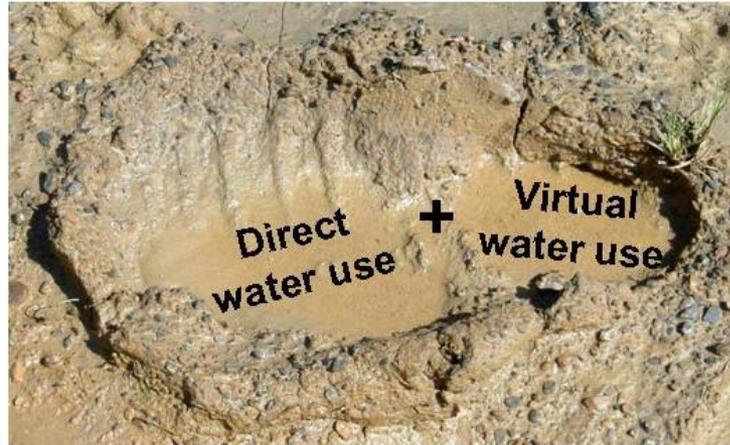
-  Surface Water Divide/Main Catchment Boundary
-  Surface Waters
-  Municipal Boundaries
-  Water Influence Zone of Mine Waste Site

-  Mine Waste Sites
-  Diffuse Groundwater Flow Direction
-  Coastal Water Flows

# La 'huella hídrica' de una mina

Fase  
operacional  
de la mina

uso directo + uso virtual



Ejemplos:

- agua para extracción y procesamiento de mineral
- bombeos de desagüe
- intersección de acuíferos
- desvío de cauces
- etc.

Fase post-  
cierre de la  
mina



consumo remanente

- evaporación en lagos de tajo
- puntos remanentes de descarga artificial (túneles, perforaciones...)
- cambios en régimen de flujo de acuíferos (interconexiones etc.)

- Antes de 1980: casi nada
- 1980 - ~ 1995: Un lío impuesto de afuera
- ~ 1995 - hoy:  
Un elemento clave del cumplimiento de la responsabilidad social empresarial;  
el costo de “la licencia social para operar”  
(Mining Association of Canada 2005)

- Enfoque 'tradicional': solo la fase extractiva
- Enfoque de los años 90<sup>a</sup>: 'planificación para el cierre'
- Enfoque 'holístico': 'Planificación hidrológicamente defensiva'

- ¿Para que?: **evitar** la generación de nuevos 'pasivos ambientales mineros'
- ¿Cómo?: utilizar **prácticas que minimizan el impacto hidrológico** en el diseño e implementación de obras de exploración (pozos etc.), explotación, restauración y gestión a largo plazo  
*- con apoyo de las guías técnicas de ERMITE*

...sin planificación hidrológicamente defensiva

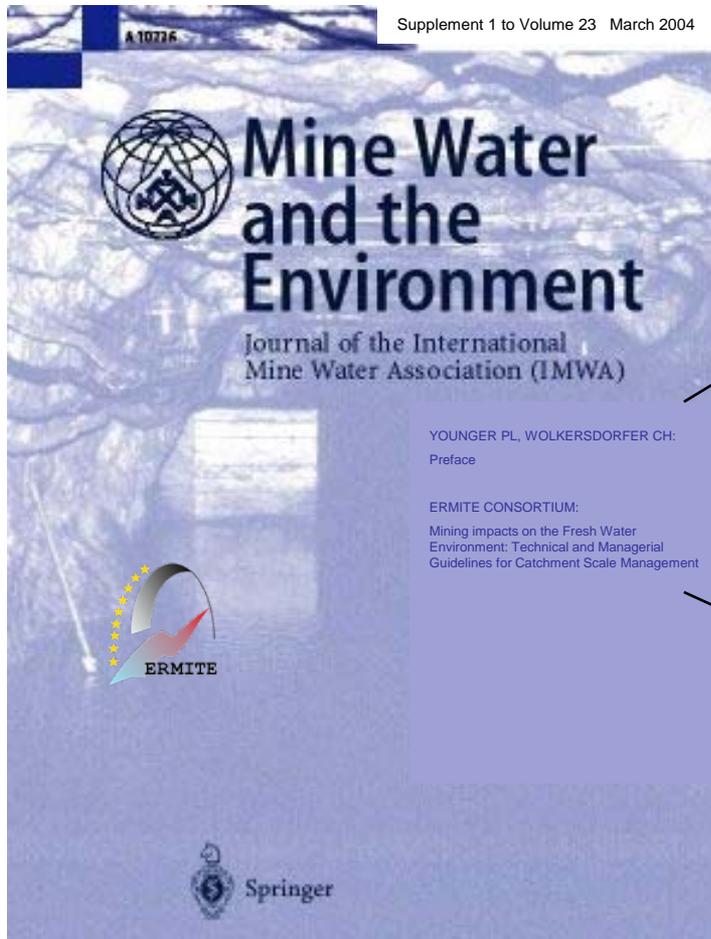
- Un **mal ejemplo** de Bolivia: pozos de exploración abandonados sin sellar



# Proyecto ERMITE

## ERMITE:

Environmental Regulation of Mine Waters in the European Union  
Comisión Europea, 5º Programa Marco, contrato EVK1-CT-2000-00078



**YOUNGER PL, WOLKERSDORFER CH:**

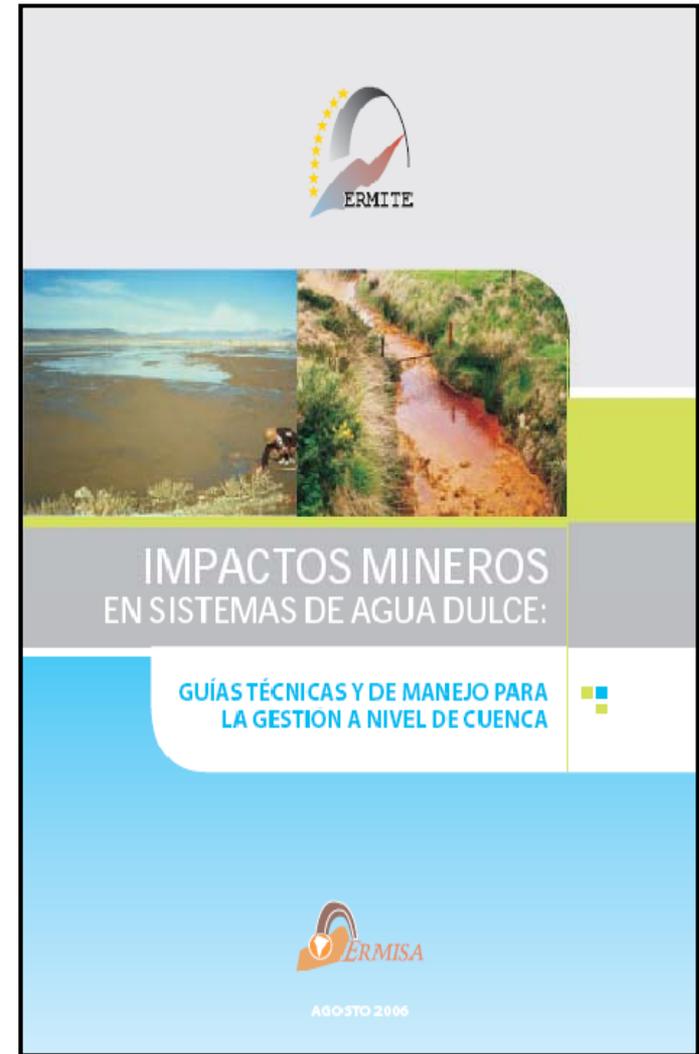
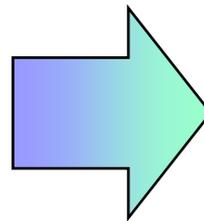
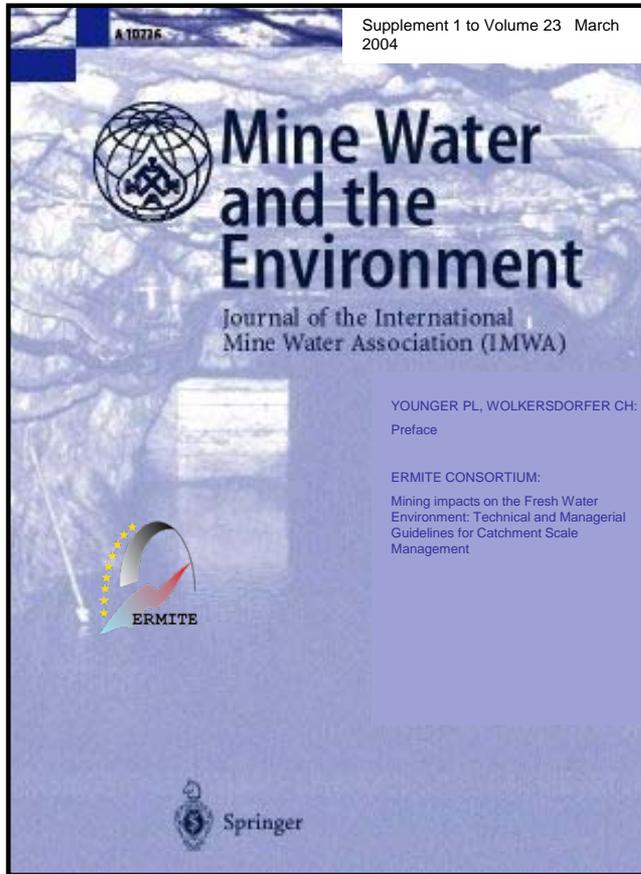
**Preface**

**ERMITE CONSORTIUM:**

**Mining impacts on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management**

# Las guías técnicas de 'ERMITE' en español

para el manejo de impactos mineros  
a nivel de cuenca



<http://www.labor.org.pe/webermisa/images/revista1.pdf>

- Cualquier actividad humana tiene impactos sobre el entorno.
- Los **impactos** pueden ser *positivos* o *negativos*.
- Lo importante es *ser consciente* de los posibles impactos para *minimizar los impactos negativos* y *maximizar los impactos positivos*.

- ‘Amnesia empresarial’ y seguimiento de estructuras claves (p.ej. Presas de relaves)
- Cambios en calidad de las aguas durante y después del cierre de una mina
- Cambios permanentes en cantidad y calidad de agua (*huella hídrica*)
- Aparición inesperada de dependencias de descargas artificiales del agua

‘Amnesia empresarial’ y la estabilidad de presas de relaves  
Caso Aznalcóllar, España



Solución: construcción adecuada de la presa y de los pozos de observación, monitoreo de la estabilidad.

Empeoramiento de la calidad de las aguas durante la inundación de labores mineras abandonadas, después de finalizar el bombeo

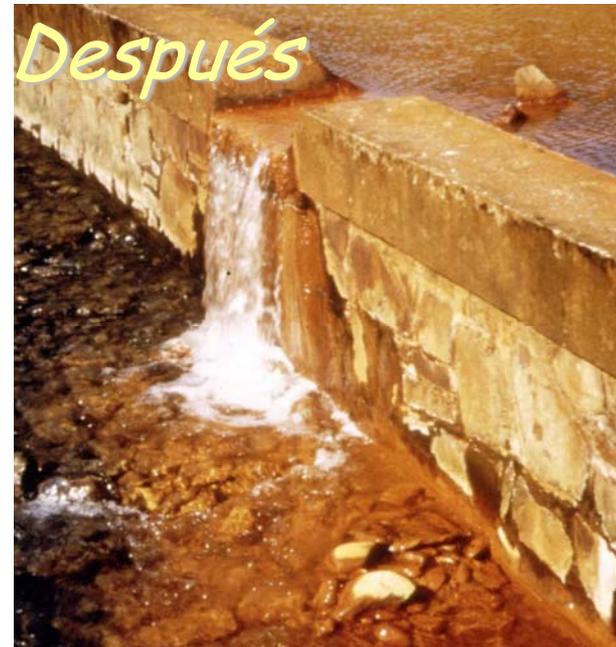
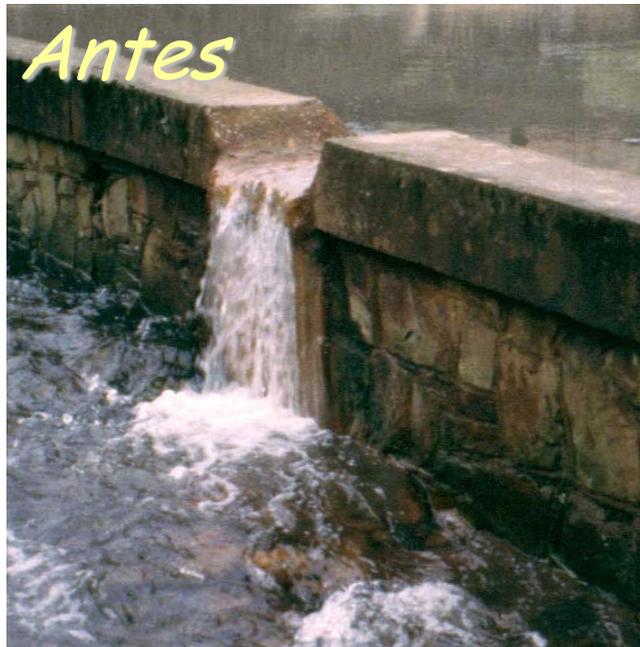


*Disolución de 'sales generadores de acidez'*

(minerales secundarios formados por la meteorización de pirita en un ambiente húmedo pero no saturado)

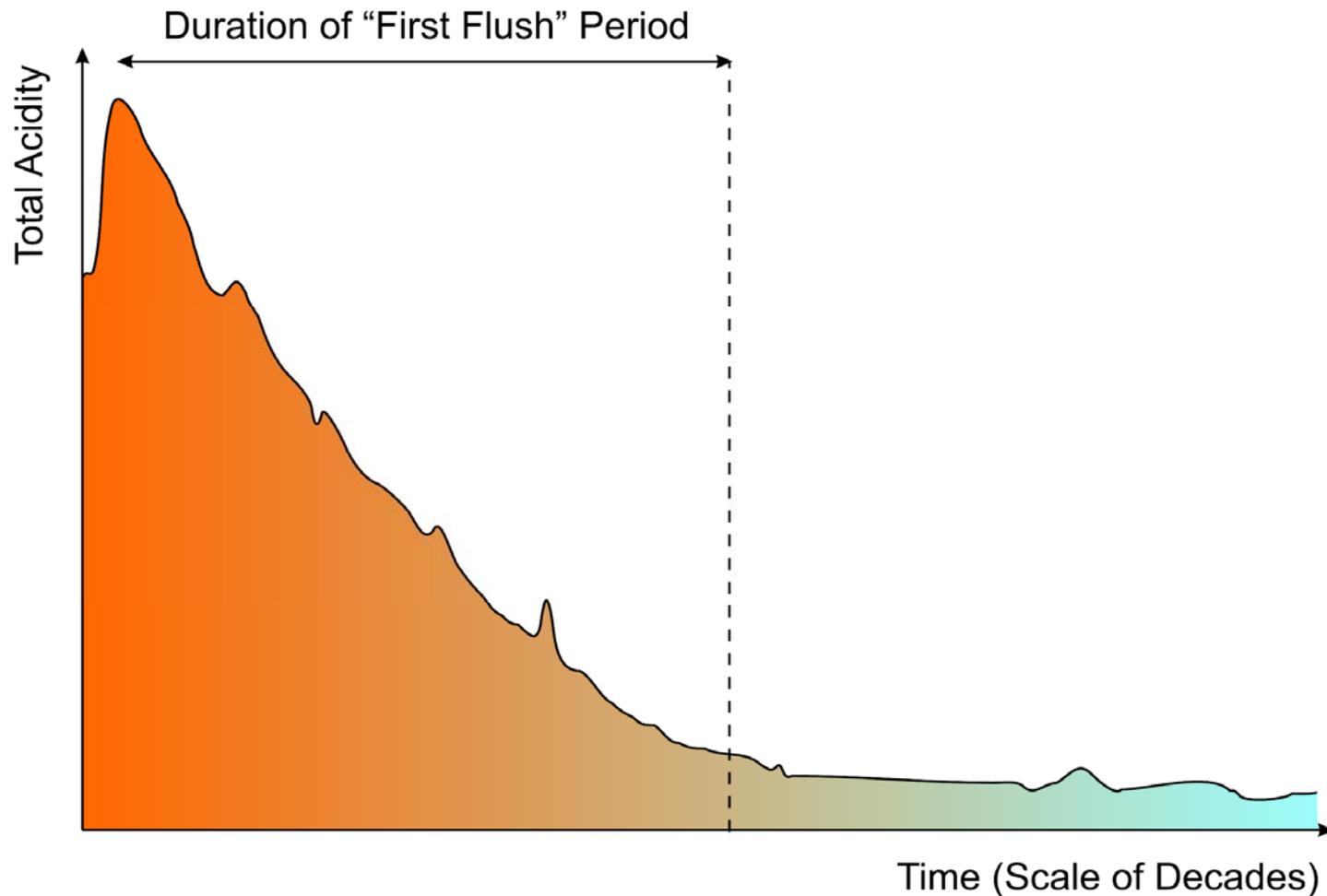
## Cambios en calidad de las aguas (cont.)

Empeoramiento de la calidad de las aguas durante la inundación de labores mineras abandonadas, después de finalizar el bombeo



## Cambios en calidad de las aguas (cont.)

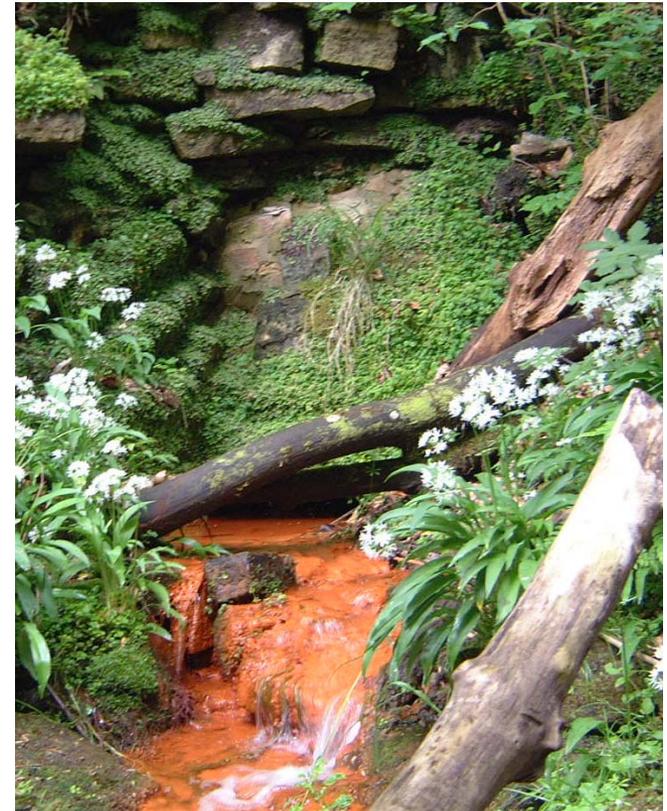
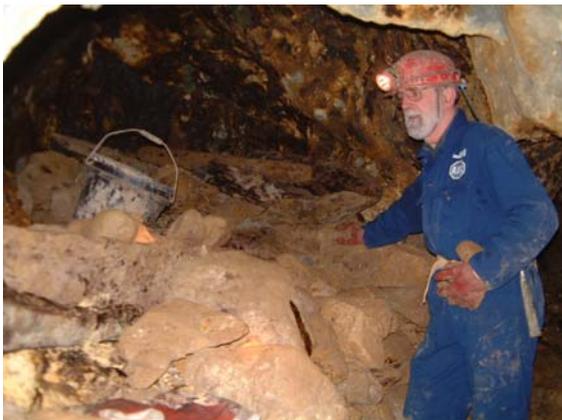
Cambios en calidad después de cumplirse la inundación  
y el inicio de descarga





Labores  
mineras de  
la Edad de  
Bronce:

Todavía  
una fuente  
de drenaje  
ácido  
después de  
3500 años



---

A largo plazo ...

---



## Durante el 'primer lavado' ...

La mina "Wheal Jane", SW de Inglaterra



Solución: planificación y previsión, tener instalado sistemas de tratamiento adecuados para cada fase.

- Por ejemplo:

- Reducción permanente del nivel freático por medio de galerías de drenaje / pozos horizontales etc.

**Solución: planificación hidrológicamente defensiva**

de aguas subterráneas por la evaporación en 'lagos de tajo'

- Importante: esos acuíferos no sufrían evapotranspiración antes de la explotación minera

## ¿que pasará tras del cese del desagüe?

- **Pérdida de flujo de base** en cauces aguas abajo durante la fase de inundación de la mina:
  - Pérdida de dilución para...
  - Pérdida de hábitat (Medal RAMSAR de C... del Sur)
- **Pérdida de riego de bosques etc.** que se cultivaron durante la fase de explotación

**Solución: cese gradual del desagüe**

---

## A tener en cuenta también: **Influencias externas**

---

- Herencia del legado negativo de malas prácticas en la minería histórica
  - 850 pasivos ambientales mineros en el Perú
  - 25 críticos por sus impactos
- Cambio climático
  - Perú se destaca por una vulnerabilidad alta al calentamiento global (Tyndall Centre); implica cambios fuertes en la disponibilidad de agua en muchas cuencas mineras
  - Impactos indirectos relacionado al reto de la adopción de prácticas empresariales para minimizar emisiones de CO<sub>2</sub>
- Cambios políticos
  - Pérdida de 'la licencia social para operar' (ej. sucesos recientes en Bolivia)

- EIA: Estudios de impactos medio-ambientales
- Gestión participativa de las cuencas
- Usos múltiples del agua
- Otras formas de regulación estatales
- Códigos voluntarios de mejores prácticas

- Muchas investigaciones han demostrado que el componente hidrogeológico en los EIAs es habitualmente demasiado débil, ej.:
  - Kuma, J.S., Younger, P.L., & Bowell, R.J. (2002): Expanding the hydrogeological base in mining EIA studies: A focus on Ghana. *Environmental Impact Assessment Review* **22**: 273 - 286.
  - Estudios de casos controvertidos actuales de la minería en el Perú, realizado por el equipo de ERMISA (2006)
- Frecuentemente falta una apreciación adecuada de los impactos a largo plazo
- Los estudios hidrogeológicos deben ser públicos, disponibles antes del proceso de consulta, para crear transparencia y aceptación

- Implementación de **políticas de protección y conservación del recurso hídrico** con participación de todos los grupos de interés
- **Planes de Gestión** de los Recursos Hídricos de las Cuencas, incluyendo
  - obras y acciones de prevención
  - sistemas de gestión hidrogeológica
- **Comités de Monitoreo y Vigilancia Ambiental participativos**
  - calidad y cantidad del agua
  - evaluaciones confiables e independientes

- Gestión eficiente de **aguas superficiales y subterráneas** a nivel de cuenca
- **Uso múltiple del agua**, en beneficio todos los actores
- Respetar un **caudal ecológico mínimo**
- **Uso eficiente** del agua: mejor tecnología disponible (sin costos excesivos – ‘BATNEEC’)
- La minera debería dar un buen ejemplo **para incentivar a otros sectores** de modernizar sus tecnologías

### ***Principios ...***

- Holístico
- Separación de poderes
- Seguimiento

### ***Para qué ...***

- Evitar 'incentivos perversos'
- Evitar conflictos de intereses
- Asegurar la credibilidad de la fiscalización (transparencia)
- Controlar la implementación

- Concretamente en cuanto a minería:
  - Separar la promoción de actividad económica de la protección del medio ambiente
  - ejemplo:
    - Ministerio de Energía y Minas:
      - Promover desarrollo minero, asegurando ingresos justos al tesoro público
    - Ministerio del Ambiente:
      - Revisar los EIAs; fijar límites (adecuados para cada región); monitoreo y control del cumplimiento
      - Fiscalización

- Ya tienen, y van a seguir teniendo, **un papel clave**:
  - suelen **reflejar 'lo posible'** mucho más fielmente que las leyes escritas por políticos que no conocen bien el sector minero
  - Entran en **niveles de detalle** mucho más finos que las leyes
- Sin embargo, se pueden identificar casos en que el **uso 'ciego'** de tales códigos ha rendido resultados totalmente contrarios de los planteados por los autores de los mismos códigos

Ejemplo: Provocando problemas graves por la aplicación 'ciega' de una política de descarga cero

- Mina de oro, zona semi-árida
- Se implementó una **política de descarga cero** mediante la construcción y uso de una enorme **cuenca de evaporación**
- Se evaporaron todas las aguas:
  - usadas en la beneficiación de la mena, y que podrían contener cianuros
  - que se encontraron en las labores de la mina, que fueron acídicas / metalíferas, y/o tenían una posibilidad (aún pequeñísima) de haber contactado los cianuros
  - bombeadas de acuíferos regionales afuera de la mina, para prevenir su ingreso a la mina

Ejemplo: Provocando problemas graves por la aplicación 'ciega' de una política de descarga cero (cont.)

- Al evaporar las aguas subterráneas de los acuíferos externos:
  - se secaron varios kilómetros del río principal de la región
  - se bajó la capa freática alrededor de la mina, hasta que docenas de pozos particulares se dejaron sin agua
- La **práctica 'más buena'** hubiera sido descargar esas aguas al río, aguas abajo de la mina

### **Descarga cero** no de agua, sino *descarga cero de contaminantes:*

- *Ejemplo Sudáfrica:*

- Varias empresas mineras en el Río Olifants están depurando sus aguas residuales para devolverlas al río y aumentar su caudal (con monitoreo transparente de calidad).

- *Ejemplo España:*

- En la mina abandonada de Tharsis es rentable de tratar las aguas ácidas para regar plantaciones de naranjos.

### *Otros impactos positivos sobre cantidad de agua:*

- *Ejemplo Arequipa, Perú:*

- Aumentar la disponibilidad de agua en la cuenca del Río Chili por construcción de presas.

# Elaborando los códigos voluntarios del futuro: el ICMM



- ICMM – Consejo Internacional de Minería y Metales
- Establecido Octubre 2001
- Sede Central: Londres
- Miembros: Empresas líderes en el sector minero (Anglo American, Freeport-McMoRan, Newmont, Noranda, Rio Tinto, etc.)
- Visión: *“Una industria viable de minería, minerales y metales ampliamente reconocida por ser imprescindible para la vida moderna y un contribuyente clave al desarrollo sustentable”*

# Principios del ICMM



- 1** Implementar y mantener prácticas éticas de negocios y sistemas sólidos de gobierno corporativo.
- 2** Integrar los temas de desarrollo sustentable al proceso de toma de decisiones de la empresa.
- 3** Apoyar los derechos humanos fundamentales y el respeto por culturas, costumbres y valores, en la relación con los empleados y otros grupos afectados por nuestras actividades.
- 4** Implementar estrategias de gestión de riesgo basadas en información válida y una sólida base científica.
- 5** Buscar el mejoramiento continuo de nuestro desempeño en salud y seguridad.
- 6** Buscar el mejoramiento continuo de nuestro desempeño ambiental.
- 7** Contribuir a la conservación de la biodiversidad y a enfoques integrados de planificación territorial.
- 8** Facilitar y estimular el diseño, uso, reutilización, reciclaje y disposición responsables de nuestros productos.
- 9** Contribuir al desarrollo social, económico e institucional de las comunidades situadas en nuestras áreas de operación.
- 10** Implementar con nuestras partes interesadas mecanismos de información, comunicación y participación que sean efectivos, transparentes y verificables independientemente.

- Si se hace en serio, la aplicación de códigos de práctica basados en principios elevados (tal como los del ICMM) implica que existen situaciones en que el desarrollo sostenible requiere renunciar a la explotación de yacimientos aparentemente rentables
- *Ejemplo:*  
Las **zonas principales de captación de agua** (p. ej. los páramos) necesitan ser protegidas en beneficio de todos los usuarios en la cuenca

---

# Las futuras **Guías de CAMINAR** sobre Gestión de Agua

---

## *Contenidos principales:*

- **Asuntos Clave en la Gestión Integral de Cuencas**
  - Marco administrativo de Gestión
  - Caracterización de Cuencas
  - Participación de Grupos de Interés, Concienciación Ambiental
  - Herramientas de Gestión (monitoreo, SIG, sistemas de soporte de decisiones, etc.)
- **Gestión Minera en Zonas Áridas**
  - Ciclo de Vida Minera a Gran Escala
    - Exploración
    - Explotación
    - Clausura
    - Gestión Post-Cierre
  - Minería pequeña y artesanal
  - Pasivos Mineros
- **Recomendaciones**

---

## Conclusiones Agua: mejorando los logros en el sector minero

---

- Capacitación en **monitoreo eficaz**: ej. 'cargas' valen mas que 'concentraciones'
- Adoptando la **perspectiva de cuencas** como marco de referencia básico
- Mecanismos para el **diálogo multi-sectorial**
- **Uso eficiente y múltiple** del agua
- **Transparencia** empresarial
- Obteniendo y manteniendo la '**licencia social para operar**'

---

## Agua: un papel clave en la **contribución minera al desarrollo sostenible**

---

- Agua es el vector más importante y el receptor más común de los impactos ambientales en minería
- Sin embargo, son pocas las empresas mineras que mantienen un enfoque consistente en asuntos hídricos:
  - a nivel operacional el agua se considera todavía una molestia
- Otra posibilidad es aprovechar la pericia de operaciones mineras en la geología y disponibilidad de agua hasta convertirse en compañías de recursos naturales en su totalidad

---

¡Gracias!

---

e-mail: [Tobias.Roetting@ncl.ac.uk](mailto:Tobias.Roetting@ncl.ac.uk)



*sabiduría natural: volviendo a casa encima de relaves ácidos sin  
parar para beber, Milluni, Bolivia*