

Curso de:

Estabilización Dinámica de Residuos Mineros

Factores Geometalúrgicos, Geomorfológicos e Hidrológicos

Solucionando los problemas de estabilidad química y mecánica de los residuos mineros **antes** de que estos se presenten ...



Visiones de una minería técnica y ambientalmente obsoleta, Mazarrón (España)

Mala imagen y pérdidas económicas: ni operadores ni reguladores desean esto hoy en día ...

GEMM: Grupo de Estudios en Minería & Medioambiente

Madrid-Almadén-La Serena

www.aulados.net/GEMM/GEMM.html



Un curso GEMM sobre: Estabilización Dinámica de Residuos Mineros

Factores Geometalúrgicos, Geomorfológicos e Hidrológicos en la Planificación de Cierres



Profesores del GEMM: José Martín Duque (UCM), Pablo Higueras (UCLM); Javier Lillo (URJC), Hugo Maturana (ULS) & Jorge Oyarzún (ULS)

Coordinación General en España: Roberto Oyarzún (UCM) (oyerazun@geo.ucm.es)
Coordinación general en Chile: Jorge Oyarzún (ULS) (joyarzun@userena.cl)

Propósitos de este curso

Casi no hace falta mencionar aquí los múltiples problemas asociados a los residuos mineros. Aparte de los relacionados con el drenaje ácido y la dispersión de metales y metaloides, los relaves, pilas, y botaderos pueden presentar serios problemas de estabilidad, particularmente en zonas sísmicamente activas, con una orografía compleja y fenómenos tormentosos (p.ej., El Niño). Si bien años atrás no existían casi herramientas que permitieran realizar estudios de predictibilidad sobre el comportamiento químico y físico de los residuos mineros, hoy existe toda una serie de tecnologías, algunas de bajo coste, que permiten prever y prevenir problemas ambientales contemporáneos o subsecuentes a la acumulación de los residuos.

Este curso trata sobre esta problemática, cómo manejar los residuos de tal manera que el proceso no implique la generación indeseada de efluentes de alto riesgo y por otra parte, que los materiales se adapten adecuadamente a los factores climatológicos y orográficos.

La experiencia acumulada de los miembros del GEMM en Chile y España sobre esta temática nos permite ofrecer en este momento una visión integrada del problema, y lo que es más importante, entregar herramientas prácticas de solución. Lo hacemos a través del estudio integral y dinámico de la temática, desde las raíces de la misma (aspectos litológicos y geometalúrgicos de la carga mineral), la orografía y clima, el régimen hidrológico local y regional, el monitoreo y diagnóstico de los residuos (geoquímica y geofísica de las acumulaciones de residuos), acabando con la entrega de soluciones globales, químicas y físicas de integración de los residuos en el entorno ambiental de las operaciones mineras: 1. estabilización química; 2. Estabilización morfológica mediante el software Geofluv® y el método Natural Regrade®.

Sobre el GEMM

www.aulados.net/GEMM/GEMM.html

El GEMM es el Grupo de Estudios en Minería y Medioambiente, formado por profesionales de Chile y España, con una amplia experiencia aplicada a las múltiples interacciones entre la actividad minera y el medio en que esta se inserta. Sus principios son los siguientes: 1. Comprender la naturaleza "geológica" (integral) de los recursos minerales, tanto a la escala local como a la regional. 2. Comprender el potencial contaminante que poseen los yacimientos minerales y el papel que puede jugar su encajante. 3. Comprender los principales métodos de explotación minera y procesos metalúrgicos. 4. Comprender los procesos de traspaso geoquímico de metales y metaloides a la atmósfera, suelos, aguas y biota. 5. En función de lo anterior evaluar los riesgos potenciales que se derivan de los yacimientos minerales y explotaciones mineras en activo o abandonadas. 6. Por último, proponer soluciones ambientales acordes a cada caso concreto: previendo riesgos y estableciendo normas para la restauración y remediación.

Programa Docente

3 Bloques Temáticos Repartidos en 4 Días de Clases (30 Horas Lectivas)

Bloque 1

Mañana del día 1

1) Problemática de los residuos mineros: una introducción al tema (1 hora):

- Aspectos geometalúrgicos de especial relevancia.
- Botaderos.
- Relaves.
- Pilas de Lixiviación.

2) Prediciendo problemas de efluentes no deseados: de la geología a la geometalurgia pasando por el clima y la orografía (3 horas).

- Tipos de yacimientos, sus rocas y minerales: empezando por el comienzo.
- La problemática de los minerales silicatados, carbonatados y sulfurados: cuando debemos preocuparnos.
- Control climático y orográfico: situaciones controlables e incontrolables.
- Suelos, receptores universales de la contaminación.

Tarde del día 1

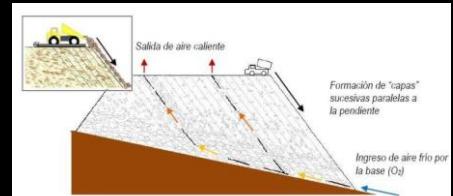
3) Aguas: medio receptor e inductor de impactos (4 horas).

- Alteración de las condiciones hidráulicas en el sistema: donde empiezan los problemas.
- Físico-química de los sistemas acuosos.
- Modelización y análisis del flujo de agua y transporte de solutos en medios porosos saturados mediante la utilización del programa Hydrus-1D.
- Manejo del programa Hydrus-1D en un laboratorio de informática; uso de PCs.

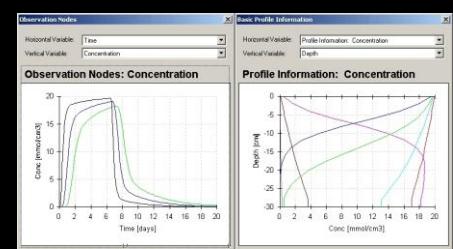
Bloque 1: identificando, comprendiendo y buscando soluciones para los residuos mineros



Relaves fuertemente oxidados, Mazarrón (España)



Movimiento de oxígeno en un botadero y potencial para la oxidación de pirita.



Modelización de aguas y solutos mediante el programa Hydrus 1-D

Bloque 1 (continuación)

Mañana del día 2

4) Mitigación de impactos químicos mediante medidas correctoras (4 horas):

- Actuaciones (*in-situ*) en los residuos durante el proceso de acumulación: importancia de los datos geometalúrgicos; “ahogando” los residuos; medidas químico-correctoras.
- Actuaciones (*ex-situ*) sobre los efluentes no deseados.

1

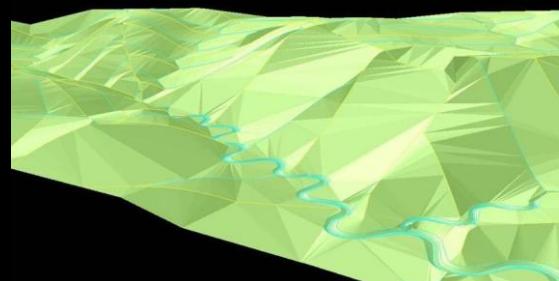
Bloque 2

Tarde del día 2

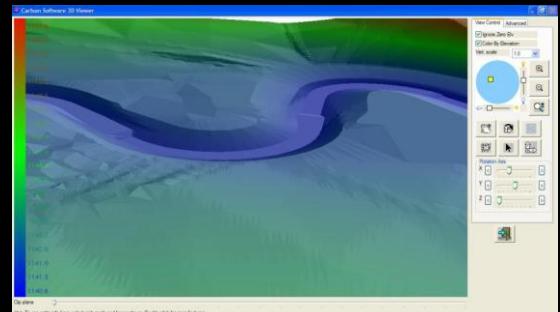
6) Restauración Geomorfológica Dinámica (RGD): Fundamentos del Método GeoFluv y el Software Natural Regrade (4 horas).

- La búsqueda de condiciones de equilibrio con el medio orográfico y climático.
- Protocolos de trabajo en campo: buscando un referente geomorfológico que replicar, y para el manejo del software.
- Ejecución de este tipo de restauraciones mineras.
- Ejemplos de este tipo de restauraciones a nivel mundial.

Bloque 2: la búsqueda de condiciones de equilibrio dinámico para los residuos mineros en su entorno orográfico y climático



Modelo 3D de un diseño de restauración geomorfológica mediante GeoFluv-Natural Regrade



Detalle de un canal de drenaje diseñado con GeoFluv-Natural Regrade

Mañana del día 3

7) Uso del software Natural Regrade (I) (4 horas):

- Manejo del tutorial del programa con una serie de licencias de prueba en un laboratorio de informática; uso de PCs. Parte 1.

Tarde del día 3

8) Uso del software Natural Regrade (II) (4 horas):

- Manejo del tutorial del programa con una serie de licencias de prueba en un laboratorio de informática; uso de PCs. Parte 2.

Bloque 3

Mañana y tarde del día 4

9) Análisis de casos concretos: Distrito de Andacollo (6 horas).

- Una introducción al caso de estudio.
- Distintos yacimientos – distintos problemas.
- Potencial para la aplicación de medidas correctoras dinámicas.
- Análisis en el campo del potencial para la aplicación de las temáticas tratadas.

Bloque 3: aspectos teórico-prácticos sobre las materias tratadas: el caso del Distrito de Andacollo



El pueblo de Andacollo y las minas Carmen y Dayton



Mina Carmen (Teck)

Coordinadores y profesores del curso (por orden alfabético):

José Martín Duque es Doctor en Ciencias Geológicas (1997) por la Universidad Complutense de Madrid y Máster en Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales por las universidades Complutense y Politécnica de Madrid (1992). Tanto su doctorado y formación de Máster, así como una estancia postdoctoral en Estados Unidos en 1998, y su pertenencia al consejo editorial de la revista *Environmental Management* desde 2004 a 2011, han estado centrados en desarrollar criterios geomorfológicos aplicables a la 'gestión ambiental' en un sentido amplio (ordenación del territorio, análisis de riesgos naturales, evaluación de impactos ambientales, restauración de áreas degradadas). De todos estos campos, el establecimiento de criterios geomorfológicos en la reconstrucción topográfica de espacios afectados por minería ha sido el más innovador, y es el que centra en este momento casi exclusivamente toda su labor investigadora, docente y de consultoría. En este campo tiene varias publicaciones internacionales, ha sido investigador principal de numerosos contratos de investigación con empresas mineras españolas. Junto con la compañía GeoFluv (<http://www.geofluv.com/home.html>) y Landforma (<http://www.landforma.com/>), está contribuyendo a transferir este conocimiento a las empresas mineras, en el ámbito internacional, en forma de métodos eficientes de restauración.

Pablo Higueras es Licenciado (1981) y Doctor (1993) en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada (España). Desde 1981 hasta 1985 trabajó en una empresa de consultoría sobre geología y minería en Córdoba (España), y entre 1985 y 1990 en una empresa minera, en Almadén (Ciudad Real, España). Desde 1990 es profesor del Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), con destino en la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, donde es actualmente Catedrático de Universidad del Área de Prospección e Investigación Minera. Su actividad profesional se desarrolla fundamentalmente en los campos de la geología minera, metalogenia y geoquímica. A partir del año 2000 se involucra en la temática ambiental del mercurio, así como de otros metales pesados liberados al medio ambiente en relación con las actividades mineras y afines. Desde el año 2010 es además Director del Instituto de Geología Aplicada (IGeA) de la UCLM, dirigiendo numerosos proyectos financiados por entidades públicas con el objetivo fundamental de establecer criterios para caracterizar adecuadamente los resultados de la contaminación inducida por la minería, y buscar posibles soluciones para ésta.

Javier Lillo concluyó sus estudios de Ciencias Geológicas en la Universidad Complutense de Madrid (España) el año 1985. Trabajó los primeros años para la Empresa Nacional Adaro de Exploraciones Mineras y como profesional libre, realizando tareas de exploración minera y cartografía geológica en el Macizo Varisco español. En 1988 se traslada a la Universidad de Leeds, en Inglaterra, donde obtuvo su PhD en 1993. En 1991 comienza a trabajar en la Compañía General de Sondeos S.A., donde participa en proyectos sobre emplazamiento geológico profundo para residuos de alta actividad, cartografía geológica y geología ambiental. Desde 1999 es profesor en la Universidad Rey Juan Carlos, actualmente como Profesor Titular en el Departamento de Biología y Geología de la Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Su actividad investigadora de los últimos años se centra en diferentes aspectos de geología ambiental, fundamentalmente relacionados con mineralogía, geoquímica e hidrogeología, enfocados a la caracterización de medios afectados por la actividad humana y al diseño de tecnologías que permitan la conservación de los recursos hídricos. Desde 2005 es codirector del Master Universitario de Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos (Universidad de Alcalá-Universidad Rey Juan Carlos). Javier Lillo es además colaborador externo del IGeA de la Universidad de Castilla – La Mancha e investigador vinculado al Estudio Madrileño de Estudios Avanzados, Imdea-Agua.

Hugo Maturana completó sus estudios como Químico Laboratorista en la Universidad de Chile, Sede La Serena, en el año 1968 y posteriormente como Químico Farmacéutico en la Universidad de Chile, Santiago, en el año 1974. En ese mismo año ingresó como profesor de química en la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Serena, y a partir del año 1990 es profesor titular en el Departamento de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad. En el año 1990 obtuvo el grado de Doctor en Química en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actualmente es Coordinador Académico y profesor de la carrera Ingeniería Civil Ambiental dictando varias asignaturas de la especialidad. Ha participado como profesor en los Diplomados en Gestión Ambiental Minera, Diplomado en Sustentabilidad Ambiental y en el Magíster en Recursos Minerales (Área Ambiental), adscritos al Dpto de Ing. de Minas de la ULS. Su labor de investigación inicialmente se relacionó con el desarrollo de tecnologías limpias para la industria minera, específicamente en aplicaciones de la biohidrometalurgia, para luego involucrarse en otras áreas de las ciencias ambientales. Actualmente su investigación está centrada en aplicaciones de la geoquímica ambiental y estudios sobre efectos ambientales de los proyectos mineros en la cuenca de la Región de Coquimbo, Chile.

Jorge Oyarzún se tituló de Geólogo en la Universidad de Chile, obtuvo un doctorado en geoquímica por la Universidad de París y posteriormente el Doctorado de Estado en Ciencias por la misma universidad, con una tesis sobre metalogénesis andina. También realizó una estancia postdoctoral Humboldt en metalogénesis en la Universidad de Heidelberg. Ha sido jefe de la División de Geoquímica del actual SERNAGEOMIN, profesor en las universidades de Chile, del Norte y de Concepción, consultor de UNESCO y de empresas mineras, y profesor invitado en universidades de Sudamérica y Europa. En particular, ha colaborado

Los profesores GEMM de este curso, son académicos con una larga trayectoria en el campo de la minería y la temática minero-ambiental. Se trata de académicos de las siguientes universidades (por orden alfabético):

Castilla – La Mancha UCLM (España)
Complutense de Madrid UCM (España)
La Serena ULS (Chile)
Rey Juan Carlos URJC (España)

A lo largo de estos últimos 10 años han realizado numerosos trabajos de investigación minero-ambiental aplicada en Chile y España.



Trabajos en el Río Elqui (IV Región, Chile)

con cinco universidades argentinas en temas de minería sostenible. El año 2002 compartió el Premio Wardell Armstrong de la antigua Institución de Minería y Metalurgia de Gran Bretaña (IMM, hoy parte de la IOM3). Actualmente es Profesor Titular (Catedrático) del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de La Serena, Chile, y en calidad de tal participó en la organización del Centro de Investigaciones sobre Zonas Áridas, CEAZA y en la creación de la Carrera de Ingeniería Ambiental. También colabora externamente en proyectos del Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y El Caribe, CAZALAC. Jorge Oyarzún es además colaborador externo del IGeA de la Universidad de Castilla – La Mancha.

Roberto Oyarzún completó sus estudios de geología en la Universidad del Norte (Chile) el año 1975. Trabajó los primeros años en exploración de yacimientos minerales en el norte de Chile, en El Salvador para CODELCO (Prospecto Kilómetro 14) y luego en la Cordillera de Domeyko, para un Proyecto de SERPLAC. Posteriormente se trasladó a la ciudad de Concepción donde fue profesor en la universidad del mismo nombre. En 1980 se desplazó a Inglaterra, a la Universidad de Leeds, donde obtuvo su PhD en 1982. En 1986 se radicó en Madrid (España), donde se vincularía con el pasar de los años de manera permanente a la Universidad Complutense, en el Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de CC Geológicas, donde es actualmente Profesor Titular. Aunque comenzó su carrera en el mundo de la exploración, paulatinamente se ha ido incorporando al tema ambiental. Mantiene no obstante fuertes intereses en los campos de la geología de minas, geología estructural, vulcanismo, y por supuesto, en la geología de campo, de la que es profesor. Junto con Paloma Cubas mantiene las páginas web de Aula2puntero y el GEMM. Roberto Oyarzún es además colaborador externo del IGeA de la Universidad de Castilla – La Mancha.

Algunos trabajos de los investigadores del GEMM en Chile y España

- Oyarzún, R., Lillo, J., Higuera, P., Oyarzún, J. & Maturana, H. 2004. Strong arsenic enrichment in sediments from the Elqui watershed, Northern Chile: industrial (gold mining at El Indio–Tambo district) vs. geologic processes. *Journal of Geochemical Exploration*, 84: 53-64.
- Higuera, P., Oyarzún, R., Oyarzún, J., Maturana, H., Lillo, J. & Morata, D. 2004. Environmental assessment of copper–gold–mercury mining in the Andacollo and Punitaqui districts, northern Chile. *Applied Geochemistry*, 19: 1855-1864.
- Oyarzún, R., Guevara, S., Oyarzún, J., Lillo, J., Maturana, H. & Higuera, P. 2006. The As-contaminated Elqui river basin: a long lasting perspective (1975–1995) covering the initiation and development of Au–Cu–As mining in the high Andes of northern Chile. *Environmental Geochemistry and Health*, 28: 431-443.
- Oyarzún, R., Lillo, J., Oyarzún, J., Higuera, P. & Maturana, H. 2006. Strong metal anomalies in stream sediments from semiarid watersheds in northern Chile: When geological and structural analyses contribute to understanding environmental disturbances. *International Geology Review*, 48: 1133-1144.
- Oyarzún, R., Lillo, J., Oyarzún, J., Maturana, H. & Higuera, P. 2007. Mineral deposits and Cu-Zn-As dispersion - contamination in stream sediments from the semiarid Coquimbo Region, Chile. *Environmental Geology* 53: 283-294.
- Oyarzún, R., Lillo, J., Oyarzún, J. & Higuera, P. 2007. Plate Interactions, evolving magmatic styles, and inheritance of structural paths: Development of the gold-rich, Miocene El Indio Epithermal Belt, northern Chile. *International Geology Review*, 49: 844-853.
- Oyarzún, R., Cubas, P., Higuera, P., Lillo, J. & Llanos, W. 2009. Environmental assessment of the arsenic-rich, Rodalquilar gold–(copper–lead–zinc) mining district, SE Spain: data from soils and vegetation. *Environmental Geology*, 58: 761-777.
- Martín-Duque, J.F., Sanz, M.A., Bodoque, J.M., Lucía, A. & Martín-Moreno, C. 2010. Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35: 531–548.
- Oyarzún, R., Lillo, J., Oyarzún, J., Maturana, H., Canut, C. & Andreani, S. 2010. Restrictive definition of asbestos and the assessment of potential health hazards: insights from Northern Chile. *International Geology Review*, 52: 955-963.

Los numerosos trabajos de investigadores del GEMM han sido publicados en prestigiosas revistas internacionales



- Higueras, P., Oyarzun, R., Iraizoz, J.M., Lorenzo, S., Esbrí, J.M. & Martínez Coronado, A. 2011. Low-cost geochemical surveys for environmental studies in developing countries: Testing a field portable XRF instrument under quasi-realistic conditions. *Journal of Geochemical Exploration*, 113: 3-12.
- Martínez Coronado, A., Oyarzun, R., Esbrí, J.M., Llanos, W. & Higueras, P. 2011. Sampling high to extremely high Hg concentrations at the Cerco de Almadenejos, Almadén mining district (Spain): The old metallurgical precinct (1794 to 1861 AD) and surrounding areas. *Journal of Geochemical Exploration*, 109: 70-77.
- Oyarzun, R., Lillo, J., López García, J.A., Esbrí, J.M., Cubas, P., Llanos, W. & Higueras, P. 2011. The Mazarrón Pb-(Ag)-Zn mining district (SE Spain) as a source of heavy metal contamination in a semiarid realm: Geochemical data from mine wastes, soils, and stream sediments. *Journal of Geochemical Exploration*, 109: 113-124.
- Martín-Crespo, T., Martín-Velázquez, S., Gómez-Ortiz, D., De Ignacio, C. & Lillo, J. 2011. A Geochemical and geophysical characterization of sulfide mine ponds at the Iberian Pyrite Belt (Spain). *Water, Air, and Soil Pollution*, 217: 387-405.
- Oyarzún, J., Castillo, D., Maturana, H., Kretschmer, N., Soto, G., Amezaga, J., Rötting, T.S. & Younger, P.L. 2012. Abandoned tailings deposits, acid drainage and alluvial sediments geochemistry, in the arid Elqui River Basin, North-Central Chile. *Journal of Geochemical Exploration*, 115: 47-58.

Algunos libros y manuales “open-source” del GEMM

Website: http://www.aulados.net/GEMM/Libros_Manuales/index_libros.html

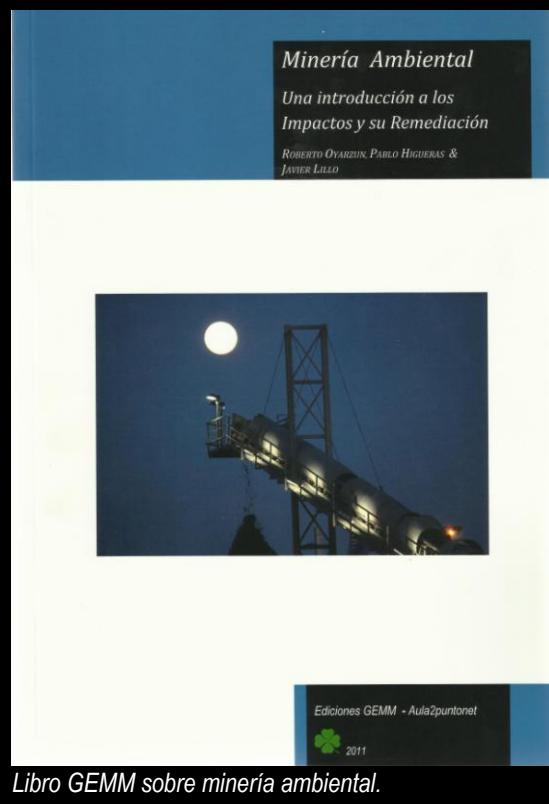
Oyarzún, J. & Oyarzun, R. 2011. Minería Sostenible: Principios y Prácticas. Ediciones GEMM - Aula2puntonet, 418 pp.

Aunque ninguna persona informada ignora que la minería y la extracción de hidrocarburos son esenciales para la supervivencia de nuestra sociedad, el rechazo a estas se ha convertido en una moda como muestra de sensibilidad ambiental. Por otro lado, graves errores cometidos por algunas empresas mineras y petroleras han dado argumentos a los detractores de esta actividad económica. El libro *Minería Sostenible: Principios y Prácticas* (que incluye un capítulo sobre Recursos Energéticos) analiza y discute estas materias desde una posición pragmática, que sostiene tanto la necesidad de mantener estas industrias extractivas, como que se realicen en condiciones que garanticen la conservación ambiental, la prevención de la contaminación, la seguridad de sus trabajadores y el legítimo derecho de las comunidades locales y nacionales a participar de sus beneficios.

Oyarzun, R. 2011. Introducción a la Geología de Minas. Ediciones GEMM - Aula2puntonet, 180 pp.

La necesidad creciente de minerales a escala mundial está demandando de manera progresiva números cada vez mayores de geólogos, que son los profesionales que están cualificados para encontrar nuevos recursos minerales, estimar las reservas de mineral y realizar la planificación geológica de una explotación minera. Pero las labores van más allá de estos temas e incluyen hoy en día especialidades tan importantes como la geotecnia, la hidrogeología y esperamos que pronto, la geología ambiental. Utilizamos aquí el término “geólogo” de manera genérica, el cual por supuesto incorpora además a los “ingenieros geólogos”, ya sea en el uso iberoamericano del término o del que se utiliza en España (con un perfil más orientado hacia la geotecnia). El libro *Introducción a la Geología de Minas: Exploración y Evaluación*, consta de 180 páginas y está estructurado en cinco capítulos, un epílogo y dos anexos: Capítulo 1: Una reseña histórica de la minería; Capítulo 2: Recursos y reservas; Capítulo 3: La exploración de recursos minerales; Capítulo 4: La evaluación; Capítulo 5: El geólogo en la empresa minera; Epílogo: Sobre el porqué de esta obra y el futuro de la profesión; Anexo 1: Métodos de explotación en minería; Anexo 2: Minería a gran escala, el distrito minero de Chuquicamata (Chile).

Una de las labores del GEMM consiste en la difusión del conocimiento sobre temas mineros y minero-ambientales mediante open-source on-line



Libro GEMM sobre minería ambiental.

Oyarzun, R., Higueras, P. & Lillo, J. 2011. Minería Ambiental: Una Introducción a los Impactos y su Remediación. Ediciones GEMM - Aula2punteret, 337 pp.

La actividad minera, como la mayor parte de las actividades que el hombre realiza para su subsistencia, crea alteraciones en el medio natural, desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se desarrollan. Estas cuestiones, que hace algunos años no se percibían como un factor de riesgo para el futuro de la humanidad, hoy se contemplan con gran preocupación. Así, en el momento actual existen normativas muy estrictas sobre el impacto que puede producir una explotación minera, que incluyen una reglamentación de la composición de los vertidos líquidos, de las emisiones de polvo, de ruidos, de restitución del paisaje, etc., que ciertamente a menudo resultan muy problemáticos de cumplir por el alto costo económico que representan, pero que indudablemente han de ser asumidos para llevar a cabo la explotación. La obra trata los temas minero-ambientales de manera secuencial a través de seis capítulos y tres anexos: 1. Minería e impactos ambientales; 2. Las raíces del problema; 3. Compartimientos ambientales impactables; 4. Introducción al estudio y corrección de impactos ambientales; 5. Casos de estudio; 6. Epílogo: cuando el futuro nos alcance; Anexo 1: Técnicas de tratamiento del drenaje ácido de mina; Anexo 2: Restaurando escombreras; Anexo 3: Impactos y atenuación natural.

Martín Duque, J.F., 2012. El método Geofluv y el software Natural Regrade. Ediciones GEMM, Sección Documentos, http://www.aulados.net/GEMM/Documentos/Geofluv/Geofluv_GEMM.pdf

El método GeoFluv (patentado en EEUU, <http://www.geofluv.com/home.html>) y el software Natural Regrade que lo desarrolla (Carlson Software, <http://www.carlsonsw.com/>), en adelante GeoFluv-Natural Regrade, permiten garantizar la máxima estabilidad geomorfológica, desde el corto al largo plazo, de las restauraciones llevadas a cabo en huecos y escombreras (botaderos). Ello permite obtener, simultáneamente, beneficios económicos, sociales y ecológicos, en tanto se minimiza el mantenimiento de las superficies restauradas y se maximiza su potencial ecológico y productivo. En definitiva, el método promueve la mayor sostenibilidad posible de los terrenos que han tenido una ocupación temporal de la actividad minera, favoreciendo y potenciando otros usos futuros. Todo ello mediante la construcción de relieves que han sido diseñados sobre la base de principios científico-técnicos proporcionados por la Hidrología y la Geomorfología. Las bondades de esta innovadora metodología están avaladas por nuestra propia experiencia en España en trabajos de restauración de obras mineras.