

 JORNADA TÉCNICA - MEJORES PRÁCTICAS
EN RESTAURACIONES MINERAS

**MANEJO DE LA TOPOGRAFÍA, EL SUELO Y EL
AGUA: RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA**

 José Francisco Martín Duque,
Universidad Complutense de Madrid





Índice

1. La necesidad de los áridos y el impacto ambiental asociado a su explotación
2. Las limitaciones de los métodos convencionales de restauración minera
3. Mejores Técnicas Disponibles en restauración minera (topografía, suelos e hidrología)
4. Ejemplos de Restauración Geomorfológica
5. Ventajas de la RG
6. I+D+i

**1. LA NECESIDAD DE LOS ÁRIDOS Y EL IMPACTO AMBIENTAL
ASOCIADO A SU EXPLOTACIÓN**



Tablarroca
Yeso, arcilla, perlita, vermiculita,
hidrato de aluminio, boratos

Pintura
Dióxido de titanio, caolín, carbonato de
calcio, mica, sílice, wollastonita

Vidrio
Sílice, cuarzo, plomo, litio, sodio carbonato

<https://www.youtube.com/watch?v=60B7iCEN2xY>

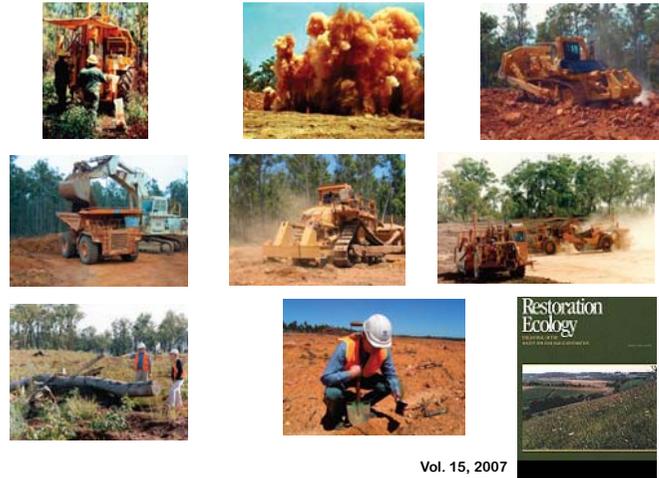


2. LAS LIMITACIONES DE LOS MÉTODOS CONVENCIONALES DE RESTAURACIÓN MINERA

Proceso explotación-restauración “minero” típico: desarrollado por Alcoa (Australia) durante 40 años

- 1) Inventarios previos
- 2) Remoción y limpieza de vegetación
- 3) Rescate de suelo
- 4) Explotación del mineral
- **5) Remodelado del paisaje y descompactación**
- 6) Reposición de suelo
- 7) Laboreo del suelo y extendido de restos vegetales y rocas
- 8) Siembra
- 9) Plantación
- 10) Fertilización
- 11) Monitorización
- 12) Manejo vegetación
- 13) Hábitat de fauna

Koch, J.M. 2007. Alcoa's Mining and Restoration Process in South Western Australia. *Restoration Ecology*, 15 (Supplement 4), S11–S16.



Vol. 15, 2007

Remodelado del terreno o del paisaje – *asignatura pendiente*.
 Del plan minero (explotación o construcción de escombreras o bancos) se pasa a la restauración
 En nuestra opinión, la restauración en minería está muy limitada con este punto de partida ‘topográfico’ (ausencia de la funcionalidad que corresponde a estos paisajes)



Los métodos convencionales de remodelado del terreno en restauración minera se caracterizan, en general, por criterios ‘estándar’

- Laderas de pendiente rectilínea, en muchos casos largas
- Topografías escalonadas (talud-berma, terrazas)
- Estructuras rígidas (p.e., drenajes de hormigón o ‘rip-rap’...)





INESTABILIDAD

Principal inconveniente de los métodos tradicionales de remodelado del terreno

- Formación de surcos
- Formación de cárcavas
- Rotura de las terrazas
- Canales 'reventados'
- Movimientos en masa
- etcétera



Los drenajes artificiales rompen de manera recurrente. Una sola tormenta forma barrancos de varios metros de profundidad

...hemos tenido mala suerte

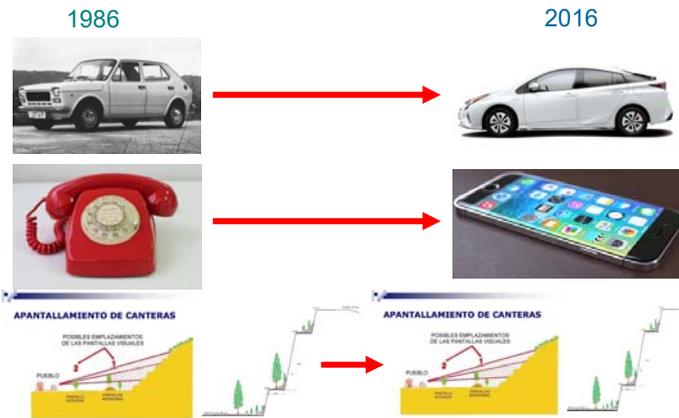


Los métodos convencionales de remodelado del terreno en restauraciones mineras implican una vulnerabilidad permanente a que ocurran fallos, recurrentes, que requieren un mantenimiento, muy costoso. Además:

- Las estructuras tipo 'bajante' son caras de construir, y utilizan materiales artificiales
- Son formas artificiales, muy alejadas de un entorno natural (baja integración y calidad visual)
- Dificultan el desarrollo de suelos y vegetación (baja diversidad biológica y ecológica)
- Las posibilidades de uso posterior son reducidas
- No se satisfacen las demandas de la sociedad y las administraciones



Cambios en nuestra vida cotidiana en los últimos 30 años

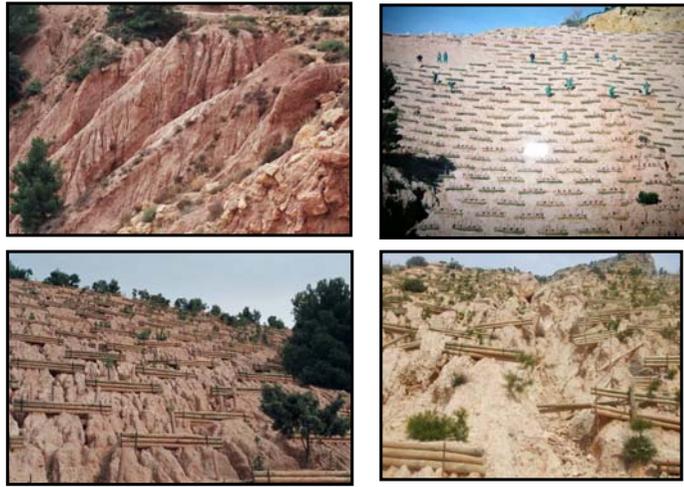


¿Y si hablamos de medicina?

11500 m³ erosionados y emitidos al río principal (Tajo, España) dentro de un Parque Natural



El caso de la Mina Alpuente (Valencia, España)



Patrón de restauración en escombreras de canteras de arcillas en la Comunidad Valenciana: *plantaciones sobre laderas rectilíneas... que acaban experimentando erosión severa*

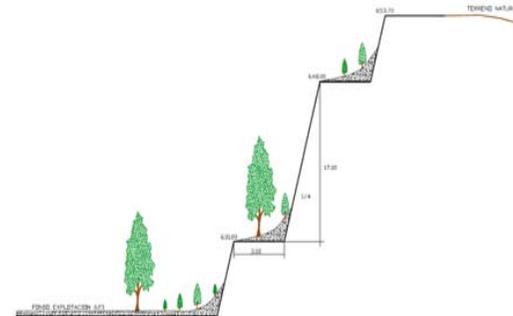


Tendencia global – *plantaciones sobre laderas rectilíneas... que acaban experimentando erosión severa*



Mina de carbón en Colombia. Foto: Fernando Prieto Vargas

Solución para una cantera de calizas (2012). De cómo el “papel aguanta todo”

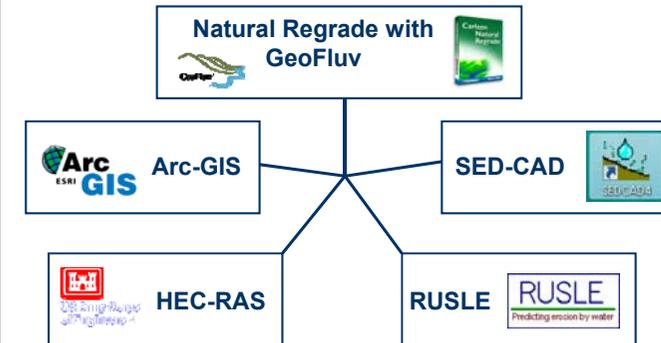


Solución para una cantera de arcillas en clima mediterráneo (2012)



3. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES (MTD) DE RESTAURACIÓN MINERA (RESPECTO A TOPOGRAFÍA, SUELOS E HIDROLOGÍA)

OSM (OFFICE OF SURFACE MINING, EEUU) - TECHNICAL INNOVATION AND PROFESSIONAL SERVICES (TIPS)



3.1. MTD – TOPOGRAFÍA

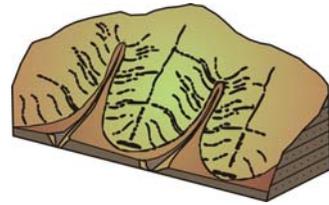
3.1.1. Imitación de geformas naturales simples
Laderas cóncavas



3.1.2. Imitación de geformas naturales complejas
Laderas festoneadas: Apalaches, EEUU



**3.1.3. Imitación de
geoformas naturales
complejas
Cuencas
hidrográficas en
laderas**



Modificado de Schor y Gray (2007)
Libro *Landforming*

**3.1.4. Imitación de geoformas naturales complejas
Cuencas hidrográficas endorreicas**



3.2. MTD - MANEJO DE SUSTRATOS EDÁFICOS Y SUELOS

**3.2.1. Utilización de FORMACIONES SUPERFICIALES
(en ausencia de suelos)**



3.2. MTD - MANEJO DE SUSTRATOS EDÁFICOS Y SUELOS

3.2.2. Replicar estructuras y espesores de los sustratos de los paisajes del entorno

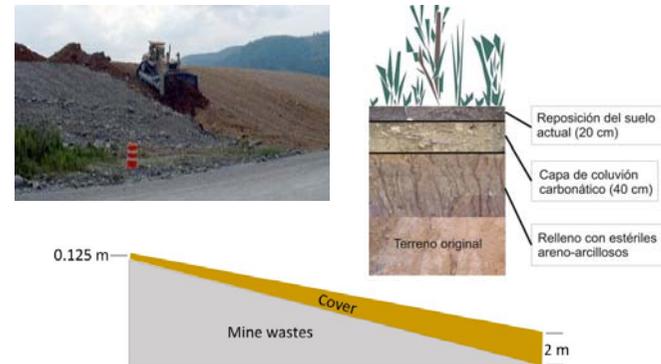
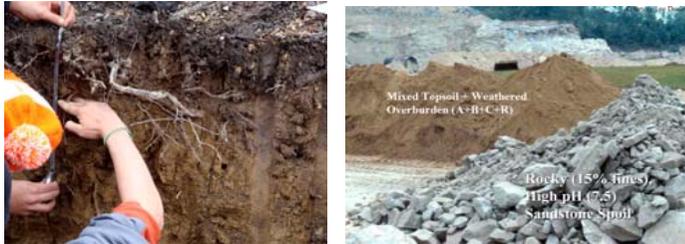


FIG 10 – Schematic diagram of cover system with increasing thickness from top to bottom of slope.

3.2. MTD - MANEJO DE SUSTRATOS EDÁFICOS Y SUELOS

3.2.3. Determinación de espesores eficientes (para su retirada), y precauciones para el acopio y extendido de suelos



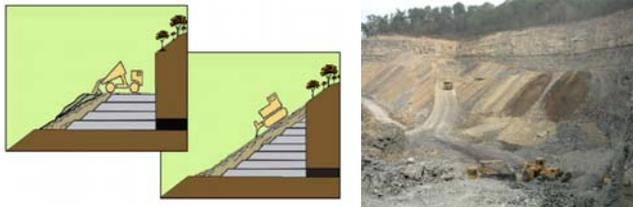
3.2. MTD - MANEJO DE SUSTRATOS EDÁFICOS Y SUELOS

3.2.4. Descompactación, incremento de rugosidad



F2

- La práctica perjudicial de construir taludes con apariencia 'lisa', otorga una falsa impresión de 'buen acabado', y de un trabajo 'bien hecho', pero el establecimiento de la vegetación suele fallar aquí. Las superficies rugosas otorgan una apariencia 'fea' al profano, pero favorecen la infiltración de agua, aceleran el establecimiento de la vegetación y disminuyen el flujo de agua a la red de drenaje. (Wright et al., 1978, p. 559)



3.3. MTD - MANEJO EXPERTO DE LA ESCORRENTÍA

3.3.1. Sistema de balsas en cascada



3.3. MTD - MANEJO EXPERTO DE LA ESCORRENTÍA

3.3.2. Utilización de modelos contrastados

HIDROLÓGICOS

- Número de Curva
- Método Racional
- HEC-RAS

DE EROSIÓN - SEDIMENTACIÓN

- RUSLE 1.06 for mined lands...
- MUSLE-Fifield
- WEPP
- SEDCAD



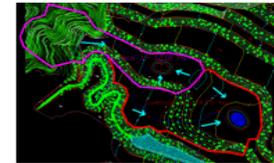
3.3. MTD - MANEJO EXPERTO DE LA ESCORRENTÍA

3.3.3. Restitución de redes de drenaje

Restituir las redes de drenaje, de modo experto, es clave para alcanzar una estabilidad a largo plazo.

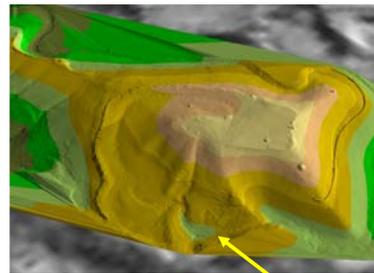
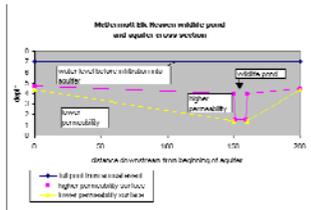
3.3.4. Creación de humedales

El diseño apropiado de humedales puede ser muy beneficioso en términos ecológicos, pues pueden actuar como reguladores de eventos extremos de escorrentía, como lugares para la retención (trampas) de sedimentos (evitando la salida de éstos hacia las redes fluviales del entorno), y como hábitats de gran interés ecológico (humedales).



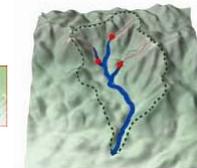
3.3. MTD - MANEJO EXPERTO DE ESCORRENTÍA

3.3.5. Construcción de acuíferos - humedales



3.4. INTEGRACIÓN DE MTD EN TOPOGRAFÍA, SUELOS E HIDROLOGÍA: RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA

La **Restauración Geomorfológica (RG)** es el proceso de diseñar y construir formas del terreno que replican la morfología y dinámica de geoformas naturales (normalmente estables) de la superficie terrestre, allí donde el relieve original ha sido transformado –y los ecosistemas han sido severamente degradados-. Sobre todo por actividades que “mueven tierras” (como minería). Su objetivo es reproducir, desde el inicio, las condiciones topográficas y de arquitectura de los distintos sustratos, que mejor se adapten a las condiciones ambientales del escenario objeto de intervención. Normalmente implica reconstruir cuencas hidrográficas estables (redes de drenaje y laderas convexo-cóncavas), que minimizan la erosión hídrica del suelo, tienen alta calidad visual y promueven ecosistemas auto-sostenibles.



ALGUNOS PRINCIPIOS BÁSICOS - En minería no es posible restaurar las condiciones físicas de partida (por ejemplo, al explotar una mina de carbón, las rocas consolidadas de la ganga pasan a ser estériles no consolidadas).

3.4.1. RESTAURACIÓN EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS ESTABLES Y FUNCIONALES: EL MÉTODO GEOFLUV Y EL SOFTWARE NATURAL REGRADE

¿Cómo sería una forma del terreno natural y ESTABLE en la localización objeto de restauración?

- Una vez identificada, se diseña y se construye
- Se trata de 'comprimir' el tiempo
- Es una aproximación empírica, no teórica

Basado en la geomorfología fluvial y de laderas – formas del terreno creadas por flujos de agua concentrada

Resultados en formato CAD

Las formas del terreno naturales siguen siempre los mismos principios, pero varían en respuesta a los materiales del sustrato, al clima local y a la vegetación

Es preciso **localizar un referente o análogo geomorfológico adecuado**

Principios generales de las formas del terreno naturales y 'maduras'

**Mejor “no tocar de oído”
¿Restauración de una red
hidrológica estable? (Mina El
Indio, Chile)**

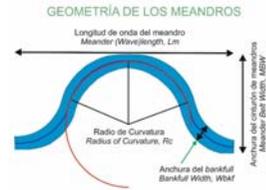


Foto N°1: Instalaciones Compañía Minera El Indio, en el dren natural o lecho de inundación. Antes del Cierre.

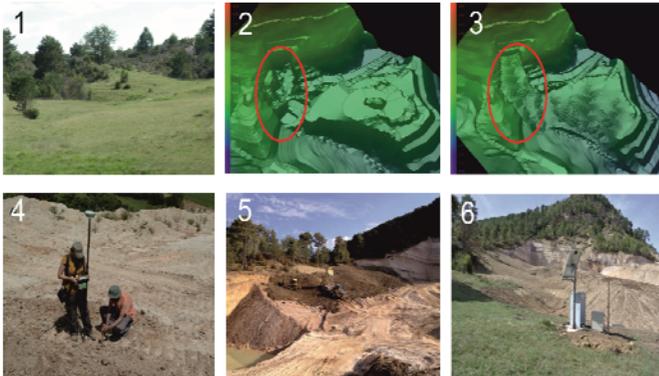


Foto N°2: Restauración de red hidrológica estable en el lecho de inundación. Después del Cierre.

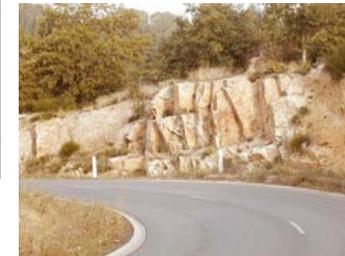
El riesgo de “creer que se entiende y que se puede improvisar...”



Procedimiento de RG GeoFluv – Natural Regrade



**3.4.2. RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE TALUDES Y FRENTE
ROCOSOS: EL MÉTODO DEL TALUD ROYAL**



3.4.2. RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE TALUDES Y FRENTE ROSCOS: EL MÉTODO DEL TALUD ROYAL

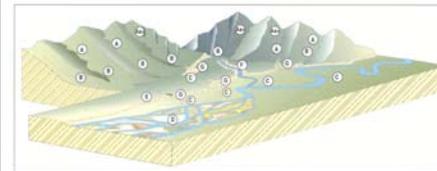
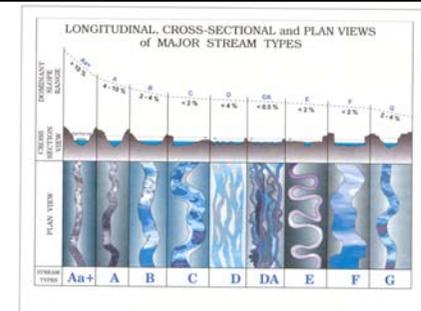
- En algunas legislaciones de restauración minera se obliga a eliminar los frentes de explotación.
- Sin embargo, si éstos se remodelan con criterios geomorfológicos, dejar expuestos los frentes de explotación puede ser beneficioso en términos ecológicos y paisajísticos, replicando acantilados naturales (hábitat 'maduro').



By Wilson44691 - Own work, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7859465>

3.4.3. RESTAURACIÓN (GEOMORFOLÓGICA) DE RÍOS

Rosgen, D., 1996. Applied River Morphology, Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado.



<http://www.rivermorph.com/>



The NMMMD considers that a **geomorphic approach to backfilling and grading** is the best technology currently available (BTCA) for stabilizing coal mine reclamation. Geomorphic reclamation considers factors such as drainage density, slope shape, channel profile and sinuosity. There are numerous books and papers written on fluvial geomorphic landforms, but below are some of the key considerations that a reviewer should check when reviewing a proposed AOC design:

- Drainage density
- Slope shape
- Drainage profile
- Drainage sinuosity...

A METHOD FOR THE EVALUATION OF COMPLIANCE WITH THE APPROXIMATE ORIGINAL CONTOUR REQUIREMENTS OF CSMC RULE 19.8 NMAC.



Nearest copy

NEW MEXICO MINING AND MINERALS DIVISION

Revised 1/2010

NMMMD, 2010. A Method for the Evaluation of Compliance with the Approximate Original Contour Requirements of CSMC RULE 19.8. NMAC. New Mexico Mining and Minerals Division, Santa Fe.

La Restauración Geomorfológica va a ser reconocida como Mejor Técnica Disponible para la Gestión de Residuos de las Industrias Extractivas a nivel de la Unión Europea




Best Available Techniques Reference Document for the Management of Waste from the Extractive Industries
 In accordance with Directive 2006/21/EC
 JOINT RESEARCH CENTRE
 Institute for Prospective Technological Studies
 Science and Production and Consumption Unit
DRAFT DOCUMENT
 June 2016

This document should not be considered as representative of the Commission's official position. Neither the European Commission nor any person acting in behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of the following information.



Chapter 4: Techniques to Consider in the Determination of BAT

4.8 Other techniques

4.8.1 Techniques to reduce the land-use/footprint

4.8.1.1 Dewatering tailings

The use of dewatered or dry tailings management can reduce the footprint of the waste facility. For further information see Section 4.4.2.6.

4.8.2 Techniques to reduce the visual impact of the waste facility

4.8.2.1 Landscaping and geomorphic reclamation

1. Description

Landscaping and geomorphic reclamation are techniques used to reduce the visual impact. The aim is to create visual screens, or the slopes of the ETSF are reshaped to resemble natural features, and avoid excavation.

2. Technical description

The technique consists of constructing large flat contour design-type slopes and then landscaping slopes and working benches into the slope's main area (see Section 4.3.3.4.3). The ETSF slopes are then reshaped to resemble natural features. It could also serve for wind erosion prevention and noise reduction (see Section 4.3.3.3).

Landscaping of a waste-rock deposit should aim to replicate a suitable distribution of slope angles and heights, gully formation, surface texture and vegetation patterns to those that would be found before the ETSF construction. Natural slope profiles are typically concave, as this is the profile for long slopes with low erosion. If the waste-rock has been deposited as long with benches between 15h, a concave slope can be readily constructed in the other direction. Final deposit locations can have much varied facilities if the construction has been included in the design since the planning phase. Figures 4.40 shows schematically the contrast between a conventional approach of a rectangular deposit and an alternative approach that takes into account the pre-existing features (cut and natural shapes) (Williams 2014).

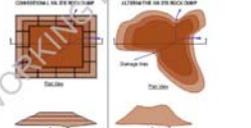


Figure 4.40: Release of conventional and alternative approaches to waste-rock deposit reclamation (Williams 2014)

Chapter 4: Techniques to Consider in the Determination of BAT

Specific general methods of landscape design based on formal geomorphic concepts and tools are available worldwide for geomorphic reclamation.

Restorative waste design reclamation with the technique can become functional reclamation systems like the ones that develop naturally in nature. The design patterns of restructured lands are supported. Instead of the uniform terraces and lower slopes, geomorphic features provide complex surfaces, with ridges and valleys, and S-shaped slopes. Small drainage paths are created and they converge to natural-looking meandering channels.

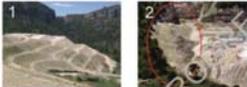


Figure 4.40: (1) Conventional rectangular reclamation, (2) Geomorphic reclamation using the natural topography of the surrounding area for reclamation.

A typical geomorphic reclamation project (the following) and establishing an ETSF includes the following phases:

- locating suitable natural features to which materials suitable to the extractive waste is field input;
- setting the design area as CAD;
- making a geomorphic reclamation model of the site;
- validating the model and the performance;
- building the designed features;
- monitoring the hydrological and socio-environmental production of the geomorphic reclamation.



Figure 4.40: Geomorphic reclamation model used by CARRAB in Spain. Left: 1. El Machorro surface mine, 2 and 3. Maria José surface mine, 4 and 5. Trías abandoned mine, 6. Somolinos abandoned mine. Right: Trías abandoned mine (a), surface benches, b. Landflow design, c. full reclamation (specimen) (a).

3. Altered rock material handling

- Reduction of the visual impact of the ETSF
- Prevention or reduction of wind erosion, diffuse emissions and dusting from the ETSF

SUPROCEED DRAFT June 2016

Chapter 4: Techniques to Consider in the Determination of BAT

From the questionnaires

- Schöttelheide (DE) (54)
- Hamel (DE) (50)
- El Machorro kaolin mine, Maria José kaolin mine (ES)
- Aurora clay quarry, Somolinos and Nuria abandoned mines (ES)
- La Plata mine San Juan mine, Navajo mine, McKinley Mine (New Mexico); Log Creek Church abandoned mine lands (Indiana) (US)

10. Reference literature

- (Williams 2014)
 (Orman et al. 2011)
 (Martin-Moreno et al. 2016)
 (DePriest et al. 2015)
 (Martin Duque et al. 2015)
 (Balaguer et al. 2014)
 (Martin Duque and Bugosh 2014)
 (Bugosh and Epp 2014)
 (NMMMD 2010)
 (ASA 1982)
 (Roth 2014)

La importancia de la restauración progresiva

El reto es incorporar el diseño geomorfológico desde el principio de la explotación. O adaptarlo en minas ya activas. El método es MUY EFICIENTE (EXISTE UN AHORRO ECONÓMICO) si se coordinan las labores de explotación y restauración, con antelación a que el movimiento de materiales comience. De este modo, las tierras que van a conformar los relieves de restauración se depositan ya adaptadas al diseño geomorfológico, minimizando la necesidad de reubicación de materiales (los estériles hay que moverlos de igual modo, ya sea siguiendo un procedimiento convencional o geomorfológico).



Mover el material sólo una vez añade eficiencia



En el caso de las imágenes, una empresa competitiva está construyendo un diseño de restauración geomorfológica en sus minas



Detalle de la maquinaria remodelando restauraciones geomorfológicas tipo GeoFluv – Natural Regrade (y extendiendo suelos)



Los procesos revegetación completan las restauraciones geomorfológicas según proceda



4. EJEMPLOS DE RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA Mina La Plata, Nuevo México, EEUU



Mina La Plata, Nuevo México, EEUU



Ejemplo de la mina San Juan, Nuevo México, EEUU



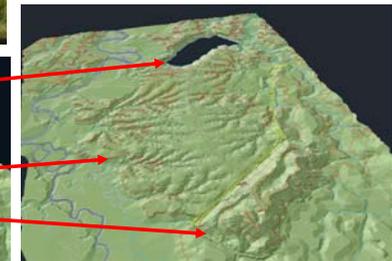
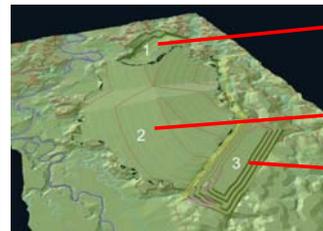
Reconstrucción de un curso fluvial de 700 m de longitud, a partir del diseño de canales naturales, mediante Natural Regrade (NM, EEUU)



Mina de arenas en Wisconsin, EEUU, en un clima húmedo templado

COLOMBIA

Proyecto de mina Bijao (Puerto Libertador, SATOR S.A.S., grupo Argos). Primer diseño GeoFluv-Natural Regrade en toda América del Sur y Central.



Mina El Machorro (Guadalajara, España)



Valor actual erosión - 18.4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ turbidez similar a línea base (baseline)

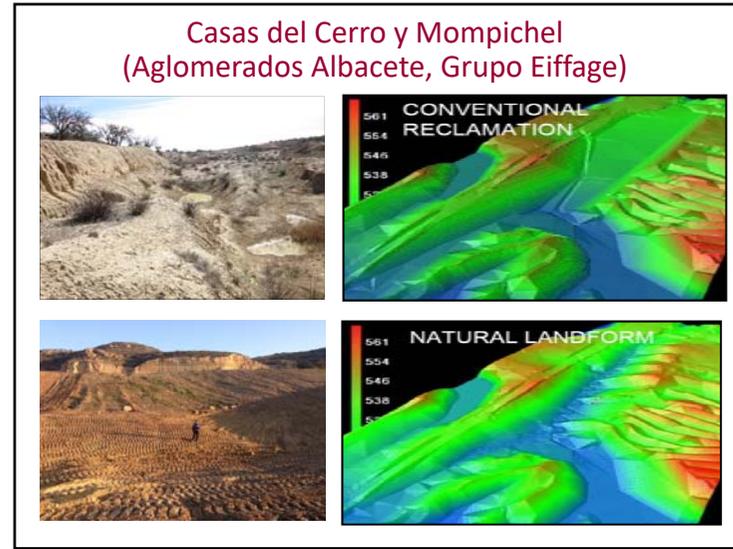
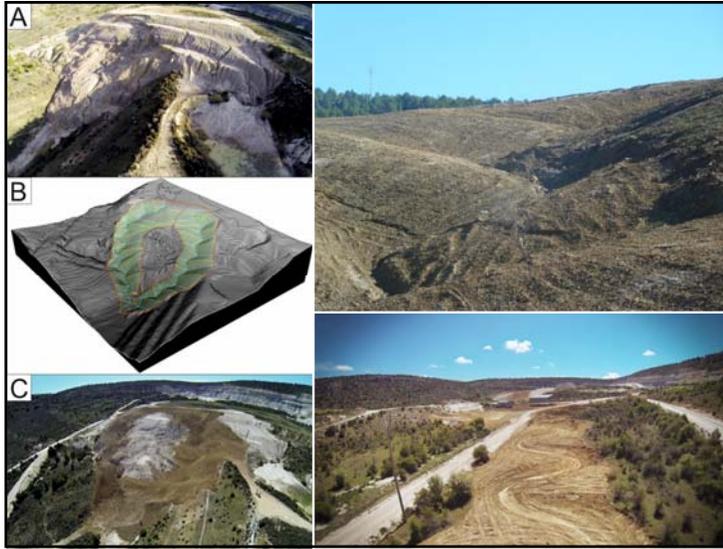


Restauración GeoFluv versus restauración tradicional



Máxima integración con el entorno





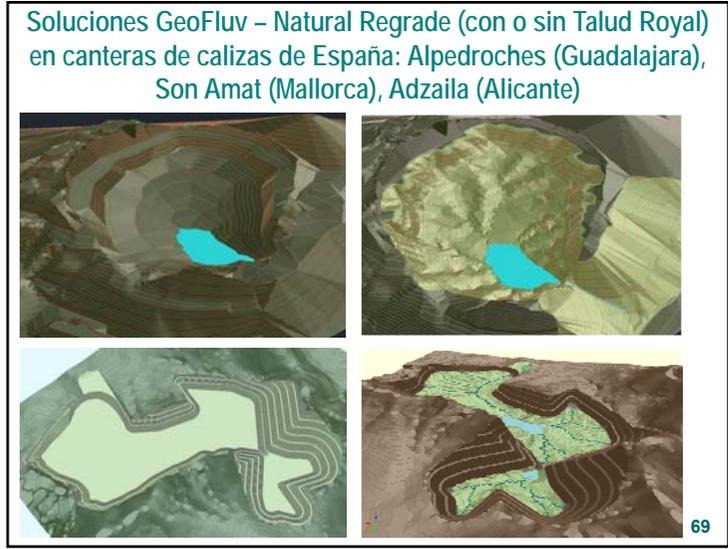
3.2.2. Actuación alternativa

Otra alternativa de actuación que podría aplicarse consistiría en la restauración geomorfológica, mediante la réplica de relieves que se identifican como "referentes", adecuados para los espacios que se pretenden restaurar, utilizando sistemas similares al Natural Regrade, que permitiría garantizar la estabilidad, desde el corto al largo plazo, de la restauración, favoreciendo la misma ante la erosión hídrica, y no solo ante los movimientos en masa y con un mantenimiento posterior prácticamente innecesario.



68

Soluciones GeoFluv – Natural Regrade (con o sin Talud Royal) en canteras de calizas de España: Alpedroches (Guadalajara), Son Amat (Mallorca), Adzaila (Alicante)



69

Formas del terreno restauradas con GeoFluv en una cantera de calizas en Nuevo México (EEUU)



WYTER & Earth Technologies, Inc.
Water Resources and Environmental Consulting

5. VENTAJAS

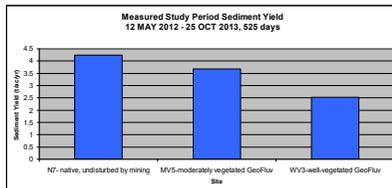
5.1. Alta estabilidad

Se proporciona una alta estabilidad, desde el corto al largo plazo, de los espacios restaurados-remodelados; se minimiza la emisión de escorrentía y sedimentos tanto en el interior de las explotaciones como al exterior



Experimento 2012-2014. Medición de emisión de sedimentos en dos cuencas restauradas con GeoFluv Natural Regrade y referente.

- Terreno natural
9.53 Mg ha⁻¹ año⁻¹
- RG moderada cubierta vegetal
8.25 Mg ha⁻¹ año⁻¹
- RG elevada cubierta vegetal
5.65 Mg ha⁻¹ año⁻¹



Bugosh, N. and Epp, E. 2014. Evaluating Sediment Production from Watersheds at La Plata Mine In: 2014 OSM National Technical Forum - Geomorphic Reclamation at Coal Mines, Albuquerque, New Mexico, May 20-22. Office of Surface Mining, Reclamation and Reinforcement (OSM), Department of Interior, United States.

5.2. Ventajas ecológicas y paisajísticas

Son soluciones sin elementos artificiales, que se integran en el paisaje circundante. Proporcionan una gran diversidad topográfica, que mejora las oportunidades de las plantas y la vida silvestre (incremento de biodiversidad). Favorece la retención de agua



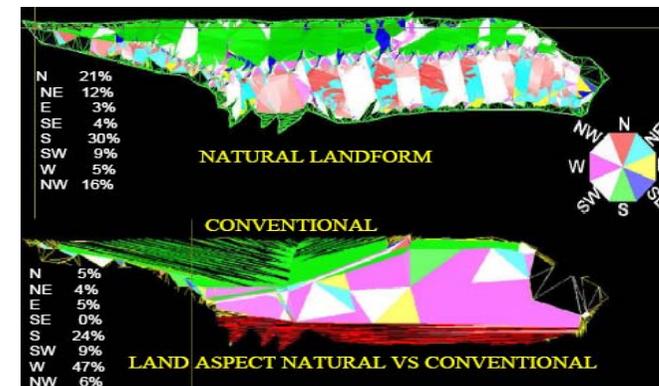
¿Cómo responderá la vegetación?



La variación en la humedad del suelo resultante de la variación de una topografía compleja juega un papel esencial a la hora de crear una diversidad alta de las comunidades ecológicas

45

Comparación de diversidad de orientaciones



No hay nada más sostenible que dejar los espacios transformados por la minería integrados con los ecosistemas y paisajes del entorno, con potencial de uso por futuras generaciones



76

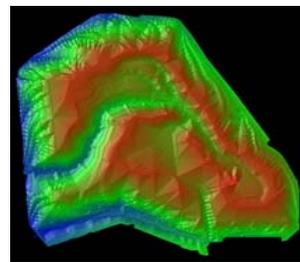
5.3. Ventajas económicas

Conseguir mejores resultados con menos inversión y promover la recuperación de las fianzas mineras

- Diseño convencional (Bermas, Terrazas, Bajantes)
 - Proyecto de Ingeniería y Permisos - \$10,000
 - Remodelado - \$250,000
 - Mulch de rocas -\$20,000
 - Construcción de bermas, terrazas y bajantes -\$150,000
 - Mantenimiento y reparaciones futuras -\$???????
 - TOTAL - \$430,000+-\$???????
- Diseño con Natural Regrade siguiendo bases de la Geomorfología Fluvial
 - Proyecto de diseño de ingeniería \$20,000
 - Remodelado \$250,000
 - TOTAL - \$270,000



Ventajas competitivas: el caso de los vertederos de RSU y RCD de Extremadura



Mejoras que suponen un incremento de la calidad de las obras:

- Conformado superficial de los trabajos con técnicas de restauración geomorfológicas de evacuación de aguas de tipología meandrica, tipo GeoFluv-Natural Regrade o técnica similar.

5.4. Ventajas sociales

Aumenta la aceptación social y administrativa de la actividad minera, reduciendo los conflictos, y estableciendo puntos de encuentro, objetivos, para la discusión: verdadera minería sostenible



19 de octubre de 2011

34627

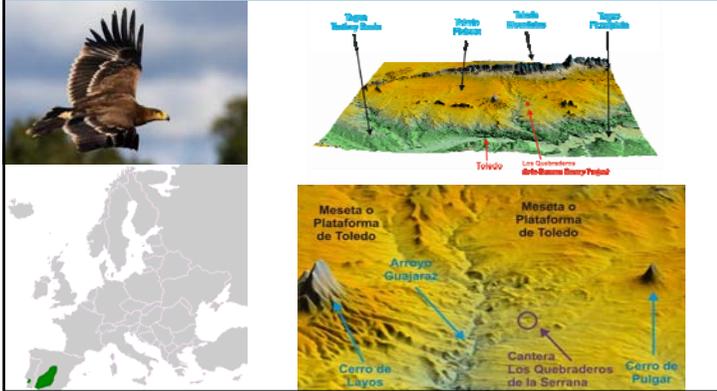
III.- OTRAS DISPOSICIONES Y ACTOS

Consejería de Agricultura

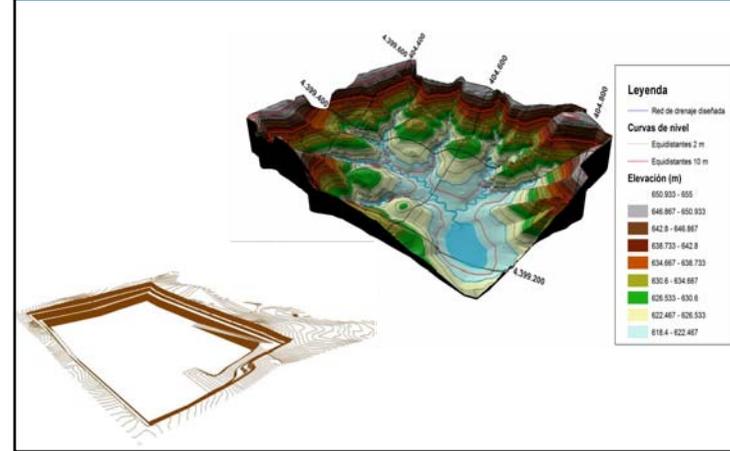
Resolución de 28/09/2011, de la Dirección General de Calidad e Impacto Ambiental, sobre la declaración de impacto ambiental del proyecto de: Cantera Los Quebraderos de la Serrana, en el término municipal de Noez (Toledo), promovido por Construcciones Antolin Garcia Lozoya S.A., expediente Pro-To-10-0489. [2011/14366]

La sociedad está demandando mayores estándares de calidad – lo 'suficientemente bueno' ya no sirve

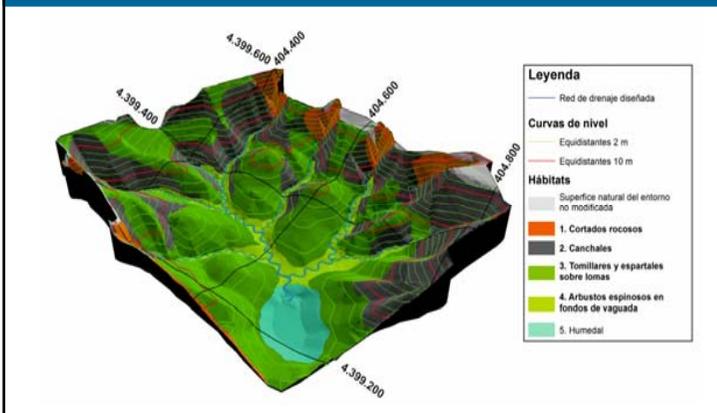
PROBLEMA – Proyecto de explotación de una cantera de pizarras en terrenos catalogados como zona de importancia y dispersión del águila imperial (especie catalogada en peligro de extinción por la UICN) (DIA previa negativa)



SOLUCIÓN – Diseño geomorfológico basado en GeoFluv que replica similares a los de la base de los relieves residuales del entorno



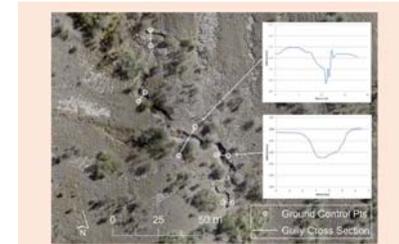
SOLUCIÓN – ... los cuales constituyen la base para la reconstrucción de hábitats que favorecen conejo, base de la cadena alimenticia del águila imperial. DIA positiva. Ni una sola alegación pública



6. I+D+i Y MTD EN RESTAURACIÓN MINERA



6.1. Cuantificación de cambios topográficos: GPS diferencial, Láser escáner terrestre y aéreo (LiDAR) fotogrametría, uso de drones (Unmanned Aerial Vehicles)



6.2. Medición de la erosión
(p.e., mediante *sediment fences*,
cubicación relleno diques, etc.)



Legenda
 — Regueros que vierten a la trampa de sedimentos
 — Regueros que no vierten a la trampa de sedimentos
 — Límite área de drenaje



Escombrera experimental El Machorro (Guadalajara)

Martín-Moreno, C., Martín Duque, J.F., Nicolau, J.M., Hernando, N., Sanz, M. and Castillo, L. 2016. Effects of topography and surface soil cover on erosion for mining reclamation. The experimental spoil heap at El Machorro mine (Central Spain). *Land Degradation & Development* 27: 145-159.

6.3. Medición de la escorrentía y la CSS
(p.e., mediante flumes, sifones, turbidímetros, etc.)



Hudson, 1997



Zapico I, Laronne JB, Martín-Moreno C, Martín Duque JF, Ortega A, Sánchez-Castillo L. 2016. Baseline to Evaluate off-Site Suspended Sediment-Related Mining Effects in the Alto Tajo Natural Park, Spain. *Land Degradation and Development* 28: 232-242

UUEPG Unidad de Estudios y Planificación del Territorio

Restoration Award '98

*Dedicated to nature
Der Natur gewidmet
Hommage à la Nature*

Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes

J.F. Martín Duque^{1*}, J. Pedraza², A. Díez³, M.A. Sanz⁴, R.M. Carrasco⁵

* Department of Geodynamics, Faculty of Geology, Universidad Complutense, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain
² Department of Environment, Faculty of Sciences, Universidad Europea de Madrid, Villavieja de Odón, 28070 Madrid, Spain
³ Received 11 August 1997; received in revised form 28 January 1998; accepted 31 March 1998

LANDFORM DESIGN AND LAND RECLAMATION
 Landform Process, Landforms 26, 141-148 (2010)
 Copyright © 2010 John Wiley & Sons, Ltd.
 Published online 13 January 2010 in Wiley InterScience
 www.interscience.wiley.com DOI: 10.1002/ldr.1000

Received 10 March 2008; Revised 27 August 2008; Accepted 13 October 2008

*Correspondence to: J. F. Martín Duque, Department of Geodynamics, Faculty of Geology, Complutense University, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain. E-mail: jfm@geodina.ucm.es

ESPL

LANDSCAPE AND URBAN PLANNING

Landscape and Urban Planning 42 (1996) 1-14

Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes

J.F. Martín Duque^{1*}, M.A. Sanz², J.M. Rodríguez³, A. Díez³ and C. Martín-Moreno⁴

* Department of Geodynamics, Faculty of Geology, Complutense University of Madrid, Spain
² Department of Mining and Geological Engineering, Castilla-La Mancha University, Toledo, Spain

Received 10 March 2008; Revised 27 August 2008; Accepted 13 October 2008

*Correspondence to: J. F. Martín Duque, Department of Geodynamics, Faculty of Geology, Complutense University, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain. E-mail: jfm@geodina.ucm.es

ESPL

Un ejemplo a pequeña escala: el exitoso (e imitable) caso de la restauración ecológica de la minería del caolín en el Alto Tajo (España)

Alto Tajo: Parque Natural, Geoparque (UNESCO), Red Natura 2000 y mejores yacimientos de caolín de la Península Ibérica



Grupo de Trabajo: minera CAOBAR, UCM (grupo Restauración Geomorfológica), UAH-UZAR, Dirección Parque Natural, y administraciones mineras. Desde 2007 – desarrollo de mejores prácticas y técnicas disponibles en restauración minera y de control ambiental (control de escorrentía y emisión de sedimentos a la red).

RESULTADOS

2 tesis doctorales, varios artículos SCI, 3 ejemplos de RG, determinación de *baseline* de SSC, solicitud conjunta de un proyecto LIFE, numerosas excursiones formativas

RECONOCIMIENTOS

- 1) El Premio de Transferencia de Tecnología y Conocimiento de la Universidad Complutense de Madrid, modalidad de Ciencias Experimentales e Ingenierías, por ofrecer soluciones de restauración geomorfológica al sector minero (2016).
- 2) Premio Nacional (España) de Minería y Metalurgia Sostenibles 2015, CONFEDEN
- 3) Conseguir la inclusión de la Restauración Geomorfológica como Mejor Técnica Disponible para la gestión de residuos de las industrias extractivas a nivel de la Unión Europea.



PROYECTOS LIFE Y MTD EN RESTAURACIÓN DE CANTERAS



<http://ec.europa.eu/environment/life/>

1. ECORESTCLAY (TORTOSA, TARRAGONA)

Nombre del proyecto: Restauración ecológica integral de una zona minera con siete explotaciones de arcilla.

Presupuesto: 1.793.169 €. La **Unión Europea** cofinancia este proyecto con una subvención de 810.000 euros.

Duración del proyecto: del 15/09/2013 al 15/09/2018.

Coordinador



Asociados

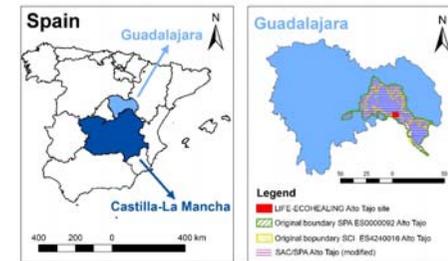




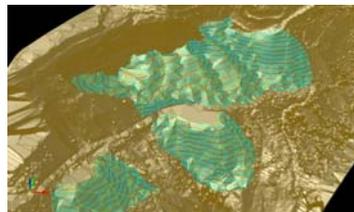
2. ECOHEALING-ALTO TAJO (GUADALAJARA)

Priority Habitats Recovery in Natura 2000 sites (Alto Tajo-Spain) by Best Available Mine Restoration Techniques

- Desarrollar las Mejores Técnicas Disponibles de Restauración Minera para la Restauración Ecológica de espacios de la Red Natura 2000 afectados por actividades mineras antiguas



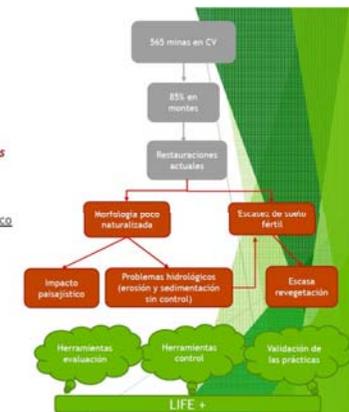
Algunas acciones

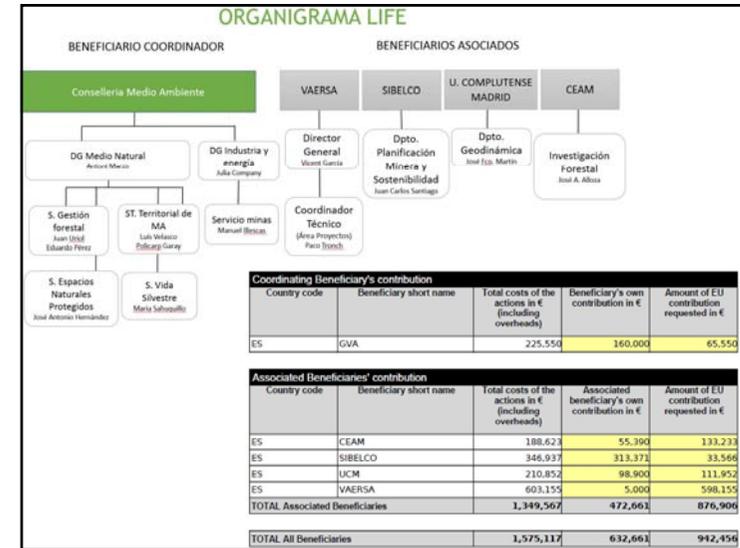
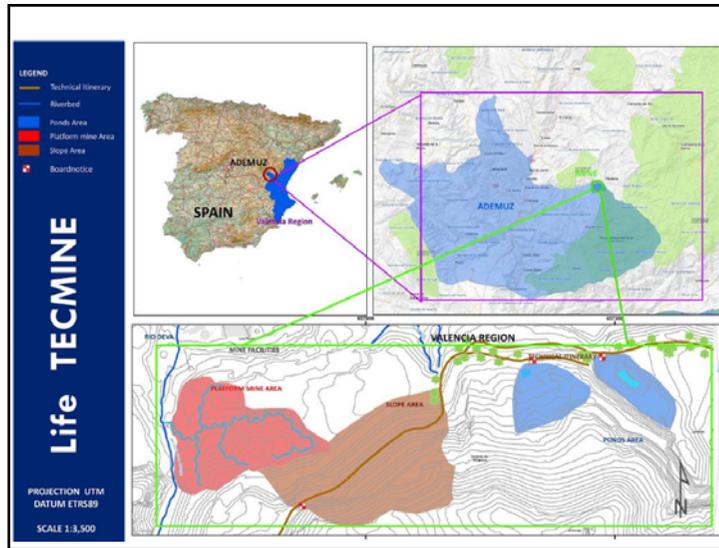


2. TECMINE (COMUNIDAD VALENCIANA)

Motivación

- ▶ En la actualidad existen 565 minas en la CV, de las cuales 481 (85 %) afectan ecosistemas forestales
- ▶ Muchas afectan LIC, ZEPAS y HABITATS
- ▶ Las **actuaciones realizadas no alcanzan los objetivos** en materia de restauración de los elementos del ecosistema ni de sus funciones
 - Se observan importantes problemas de **impacto paisajístico** debido a la morfología tradicional de berma talud
 - Se observa un **impacto significativo en la red de drenaje** natural. La cantidad de sedimentos procedentes de la explotaciones llegan a colmar cauces naturales
 - Se observa procesos erosivos severos que **reducen** la disponibilidad de suelo fértil para el **desarrollo de la vegetación**





Responsabilidad Social Corporativa (RSC)

La responsabilidad social corporativa se define como la *contribución activa y voluntaria al mejoramiento social, económico y ambiental por parte de las empresas,*

Generalmente con el objetivo de:

mejorar su situación competitiva, valorativa y su valor añadido.

RESPONSABILIDAD
SOCIAL
CORPORATIVA

un compromiso con la comunidad y el entorno social en los que trabajamos



www.restauraciongeomorfologica.es
josefco@ucm.es

