

Reconstrucción geomorfológica en la restauración minera de la cantera

Los Quebraderos de la Serrana de Toledo

Zapico Alonso, I. Universidad Complutense, Madrid
Martín Duque, J.F. Universidad Complutense, Madrid
Bugosh, N Compañía GeoFluv, Estados Unidos
Balaguer, L. Universidad Complutense, Madrid
Campillo, J.V. Construcciones Lozoya S.A. Toledo
De Francisco, C. Universidad Complutense, Madrid
García, J. Licenciado en CC Ambientales
Hernando, N. Universidad Complutense, Madrid
Nicolau, J.M. Universidad de Zaragoza
Nyssen, S. Universidad Complutense, Madrid
Oria, J. Ingeniero de Montes
Sanz, M.A. Universidad Complutense, Madrid
Tejedor, M. Universidad Complutense, Madrid

En este artículo se describen los aspectos fundamentales de un Plan de Restauración. Se explican las actuaciones realizadas en el caso concreto de la cantera los Quebraderos de la Serrana (Noez, Toledo). Primero se realiza una reconstrucción geomorfológica, para después proponer un diseño de explotación y restauración que compatibiliza la obtención de aglomerado asfáltico, con la conservación del águila imperial. Al final de este artículo se llega a concluir que deberían realizarse este tipo de actuaciones frente a la mera corrección del impacto visual.



Este trabajo forma parte del *Estudio de Impacto Ambiental y del Plan de Restauración de la cantera "Los Quebraderos de la Serrana"*, situada en el término municipal de Noez (Toledo), desarrollado en el marco de un contrato de investigación entre la Universidad Complutense de Madrid y la empresa Construcciones Lozoya.

MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

La minería es una actividad imprescindible para nuestro bienestar, hasta el punto que somos totalmente dependientes de ella. Un ejemplo muy ilustrativo, es uno de los mensajes corporativos de la Asociación Minera del Estado de Nevada (EEUU): *"Si no se cultiva, entonces hay que extraerlo de una mina"*. Por otra parte, la minería es una actividad que genera un fuerte impacto ambiental, ya que afecta a todos los compartimentos del ecosistema. En definitiva, dado que la minería es una actividad tan imprescindible como generadora de un fuerte impacto ambiental, es necesario buscar soluciones eficientes para compa-

tibilizarla con el medio ambiente en el que se lleva a cabo.

En este artículo se tratan los aspectos fundamentales del Plan de Restauración de la cantera los Quebraderos de la Serrana (Noez, Toledo), donde, por medio de la Restauración Ecológica, y más concretamente por la reconstrucción geomorfológica, se propone un diseño de explotación y restauración que compatibiliza la obtención de aglomerado asfáltico, con la conservación del águila imperial.

CANTERA LOS QUEBRADEROS DE LA SERRANA

El proyecto de cantera Los Quebraderos de Serrana, promovido por Construcciones Lozoya S.A., se sitúa sobre la denominada Meseta de Toledo, rodeada por relieves residuales de gran valor geomorfológico, como los Cerros Pulgar y Layos (ver **Figura 1**). Al Norte de la cantera se encuentra la ciudad de Toledo, y al Sur los Montes de Toledo.

De esta cantera se pretenden extraer unas pizarras de gran calidad y valor para su uso como aglo-

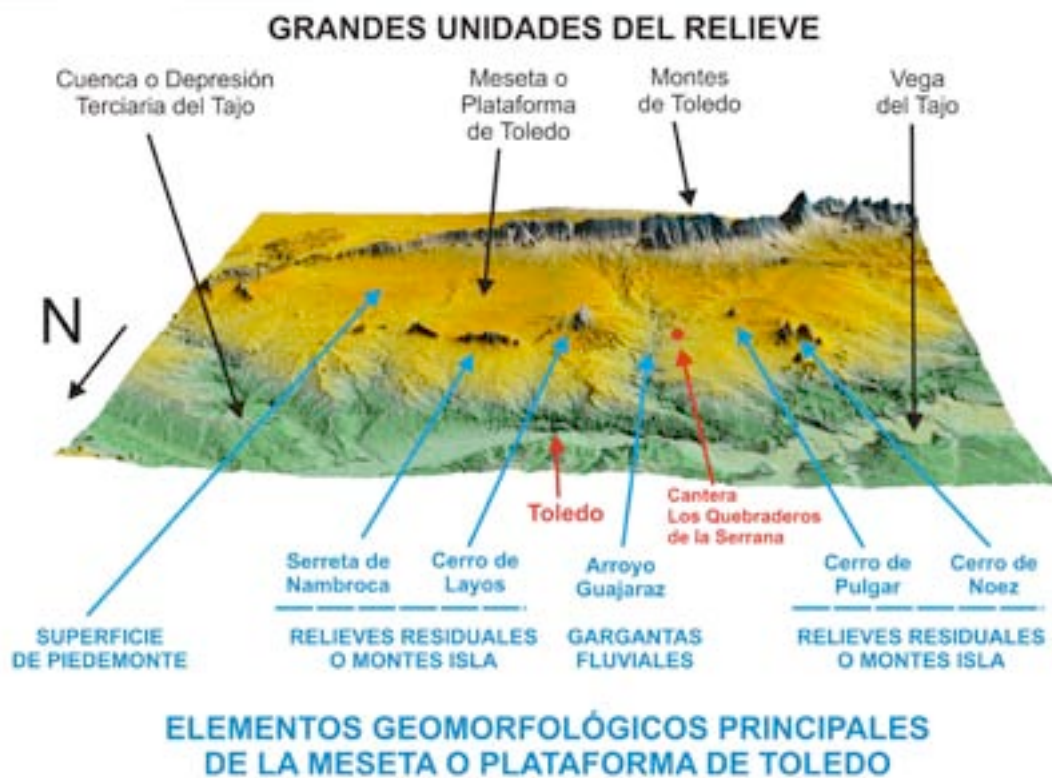


Figura 1: Situación del proyecto de cantera Los Quebraderos de la Serrana, sobre la meseta de Toledo.

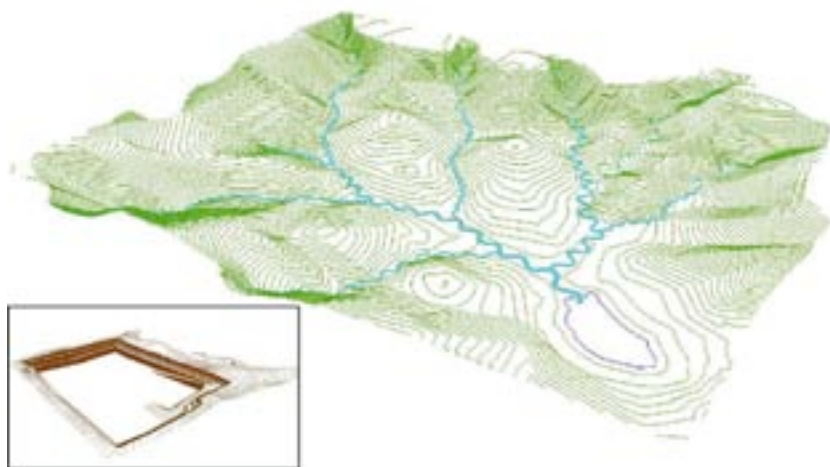


Figura 2: Vista en 3D de las curvas de nivel (en verde) del relieve diseñado con Natural Regrade (Alternativa 1). En azul se muestran la red de canales principales. La imagen inferior izquierda corresponde a una vista en 3D del estado del hueco de explotación que quedaría en caso de no hacer restauración. De este hueco se extraerán unas 650.000 m³ a lo largo de los 13 años de actividad, que es el volumen de estériles con el que se ha diseñado la restauración. El hueco a explotar tendrá 16 hectáreas de superficie y una profundidad de 30 metros aproximadamente.

merado asfáltico. Todo ello a lo largo de los 13 años que contempla el Plan de Explotación. A su vez, este emplazamiento es *Zona de Dispersión e Importancia del Águila Imperial*. Este reconocimiento significa que este territorio es necesario para la conservación de esta especie. Inevitablemente, la extracción de este material va a generar una alteración en el relieve, que aunque no afecte al águila directamente, pero sí que lo va a hacer sobre el hábitat del conejo que allí habita, y que es su principal presa.

Para poder compatibilizar la extracción de pizarras con la *Zona de Dispersión e Importancia del Águila Imperial* se ha elaborado Plan de Restauración cuyo núcleo lo constituye un diseño de reconstrucción geomorfológica. Para ello se ha utilizado la metodología GeoFluv y el software Natural Regrade, que son las únicas herramientas del mercado que diseñan restauraciones mineras teniendo como base principios geomorfológicos (Bugosh, 2002). Con esta actuación se pretende corregir la alteración del relieve que se producirá con el desarrollo de la actividad minera. Este diseño, junto con la reposición de suelos y la revegetación, permitirán crear una serie de hábitats, capaces de albergar densidades óptimas de conejo.

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LA CANTERA LOS QUEBRADEROS DE LA SERRANA

En la restauración ecológica de espacios afectados por minería a cielo abierto el aspecto más importante es la reconstrucción geomorfológica. Si no se logra establecer un relieve estable, el éxito de las otras dos fases de la restauración ecológica en espacios mineros, restitución de suelos y revegetación, se verá comprometido (Martín Duque et al., 2010).

Reconstrucción geomorfológica con Natural Regrade y GeoFluv

El diseño se basa en crear una topografía que replica las formas naturales del entorno, caracterizadas por laderas convexo-cóncavas y por poseer redes de drenaje. Todo este diseño se hace teniendo en cuenta cuatro aspectos:

- **Referente próximo a la zona:** como los estériles generados por la explotación serán similares a depósitos coluvionares, se eligió como referente los pies de los cerros de Layos y Pulgar, por ser de similares características. De ellos se extrajeron parámetros como la densidad de drenaje y la forma de los canales.
- **Clima del entorno:** se tiene en cuenta para dimensionar los canales y caracterizar su perfil transversal. Se establece a partir de valores de precipitación para diferentes periodos de retorno.
- **Tipo de estériles:** en este caso se trata de bloques de pizarras y calcoesquistos de diferentes tamaños. Su naturaleza, junto con el suelo que se repondrá, determinan el coeficiente de escorrentía.
- **Cantidad de estériles y topografía:** El software no sólo tiene en cuenta las condiciones naturales del entorno, sino que también considera las características de la cantera que se va a restaurar (hueco de explotación, método de extracción y restauración y volumen de estériles).

Con estos cuatro elementos de partida, se ha elaborado el primer diseño de restauración en España de una superficie restaurada con el software Natural Regrade, tal y como se puede ver en la **Figura 2**.

La imagen de la **Figura 2** corresponde a la *Alternativa 1* de restauración, que se ha elaborado para la cantidad de estériles que generará la explotación, sin tener en



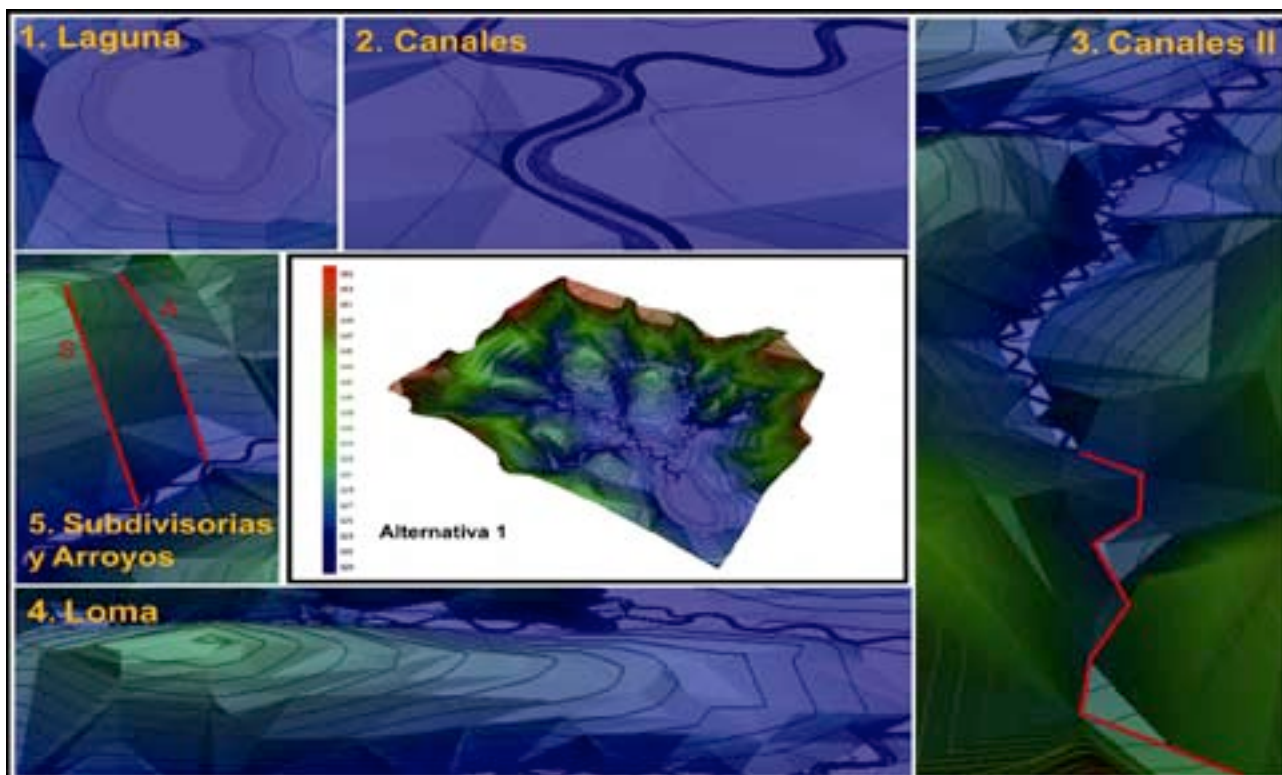


Figura 3: Detalles del diseño geomorfológico elaborado con el software Natural Regrade y la metodología GeoFluv. Donde: “S” hace referencia a la subdivisoria; “A” al arroyo; la línea roja del recuadro 3 hace referencia a la parte del canal que tiene una pendiente superior al 4% y por tanto forma de zig-zag, patrón este muy común en la naturaleza. La escala de colores de la imagen central corresponde a las diferentes alturas que alcanza el relieve diseñado.

cuenta ningún aporte externo. Algunos detalles de esta alternativa (ver **Figura 3**) son:

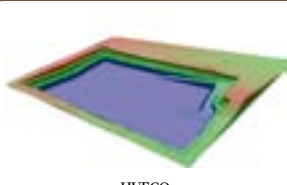
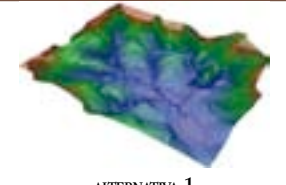
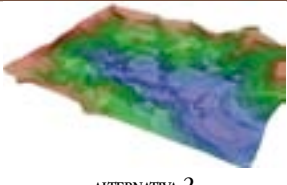
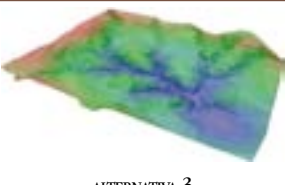
1. **Laguna:** el hueco minero que quedará tras la explotación va a ser endorreico (no verterá agua fuera de él). Así que el canal principal, en lugar de conectar con la red fluvial natural, terminará en una laguna, que dará lugar a un humedal. Su dimensionamiento se ha realizado sobre la base de un balance hidrológico de la cuenca que vierte a la laguna.
2. **Canales:** el perfil transversal de todos los canales están preparados para evacuar agua correspondiente a lluvias de distinta duración y periodo de retorno. Todo ello por medio de su *bankfull* y de una llanura de inundación.
3. **Canales II:** el patrón general de las redes fluviales naturales muestra que, para pendientes de canales superiores al 4%, los canales están excavados en el sustrato (es decir, no son ríos aluviales), al tiempo que domina en los mismos un patrón en forma de zig-zag (línea roja de la **Figura 3**). En su inmensa

mayoría, cuando la pendiente pasa a ser inferior a 4%, los ríos pasan a ser aluviales, y los canales dominantes son de tipo meandriforme (Rosgen, 1994) El software reproduce estos detalles.

4. **Lomas:** entre los canales, se sitúan lomas estables, carentes de formas geométricas, a diferencia de lo que ocurre en las restauraciones convencionales (modelo *berma-talud*) (Nicolau, 2003).
5. **Subdivisorias y arroyos:** cada uno de las lomas principales, a su vez, se subdivide en otras más pequeñas, representadas por subdivisorias secundarias. Entre estas subdivisorias se situarán pequeños arroyos, que dirigirán el agua hasta los canales principales. Esto asegurará que toda la escorrentía que se genere en la superficie restaurada esté dirigida y gestionada.

A parte de esta alternativa, se han elaborado otras dos, Alternativas 2 y 3. Éstas consideran la posibilidad de relleno con otro tipo de materiales, tales como otros estériles mineros o RCDs (Residuos de Construcción y Demolición), siempre y cuando cumplan toda una serie de condiciones

Tabla 1: Tabla comparativa entre las alternativas propuestas para la restauración de la cantera Los Quebraderos de la Serrana. En la misma se comparan todo lo referente al movimiento de tierras y a la superficie de hábitats creados.

				
	HUECO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Caraterísticas				
Características básicas sobre movimientos de tierras				
Volumen de excavación (m ³) (apertura de cuñas en frentes de explotación)	181.354,61	34.433,49	22.407,96	
Volumen de estériles total (incluyendo material procedente de la apertura de cuñas en frentes de explotación)	831.976,52	1.568.109,95	2.676.464,55	
Volumen de estériles neto (m ³)	650.621,9	1.533.676,5	2.654.056,6	
Profundidad media del relleno (m)	6,33	10,67	17,06	
Superficies de los distintos hábitats reconstruidos				
Superficie de hábitat “cortados rocosos” (ha)	1,54	1,54	1,54	
Superficie de hábitat tipo “canchal” (ha)	5,66	5,66	5,66	
Superficie de hábitat tipo “tomillares y espartales sobre lomas” (superficie sobre la que se extenderían suelos) (ha)	7,57	7,57	7,57	
Superficie de hábitat “arbustos espinosos en fondo de vaguadas” (ha)	1,41	1,41	1,41	
Superficie de tipo humedal (ha)	0,6	0,6	0,6	
Superficie total de nuevos hábitats (ha)	16,78	16,78	16,78	
Limitaciones para la restauración				
Superficie con pendientes > 45% (ha)	2,2	0,9	0,18	

establecidas en el Plan de Restauración. En la **Tabla 1** se puede ver una comparativa entre las tres alternativas. El modelo de restauración es el mismo para las tres alternativas, y viene establecido por la presencia de una red de drenaje y una laguna final. La principal diferencia entre estas tres alternativas reside en que, al aumentar la cantidad de material de relleno, aumenta la profundidad de relleno, y se reducen por tanto las zonas de pendiente más elevada.

Restitución de suelos

Durante el proceso de explotación se procederá a la retirada y acopio de los suelos originales, incluyendo una capa arcillosa situada bajo el suelo edáfico. Todo el proceso de retirada y acopio de los suelos se llevará a cabo siguiendo un protocolo establecido en el Plan de Restauración, para procurar su correcta conservación. Estos

suelos, una vez retirados y acopiados en el exterior de la explotación, se extenderán sobre el nuevo relieve, con un espesor próximo a 40 cm.

Revegetación y hábitats

El último paso del Plan de Restauración es la revegetación, que en este caso está totalmente dirigida a la reconstrucción de hábitats para el conejo. En la actualidad, la superficie sobre la que proyectará la cantera se caracteriza por poseer un hábitat, dominante y homogéneo, de pastizales sobre llanuras ligeramente alomadas. El relieve diseñado con Natural Regrade, junto con la reposición de suelos y la revegetación, permitirá la creación de cinco nuevos hábitats (ver **Figura 4**): 1, cortados rocosos; 2, canchales; 3, tomillares y espartales sobre lomas; 4, arbustos espinosos en fondos de vaguada; y 5, humedal.



Leyenda

— Canales

Tipos de Hábitats



1. Cortados rocosos



2. Canchales



3. Tomillares y espartales sobre lomas



4. Arbustos espinososo en fondo de vaguadas



5. Humedales

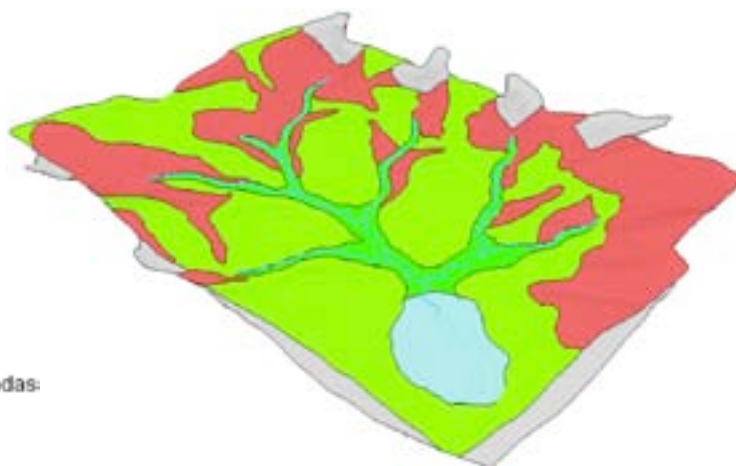


Figura 4: Vista 3D que muestra la distribución de hábitats sobre la futura superficie restaurada de la cantera Los Quebraderos de la Serrana.

CONCLUSIONES

Mediante la consideración de criterios geomorfológicos se ha conseguido un diseño de restauración que: **1)** aumenta el número y diversidad de hábitats respecto a los que había antes de la actividad; **2)** asegura la estabilidad del sustrato a largo plazo, lo que contrasta con la inestabilidad de muchos de los modelos convencionales berma-talud; **3)** disminuirá o eliminará los costes de mantenimiento; **4)** consigue un mayor atractivo visual que los modelos convencionales berma-talud. En definitiva, una solución de restauración que permite restituir hábitats que soportarán al conejo, y que harán compatible la actividad minera con la conservación del águila imperial.

Este ejemplo nos permite concluir que, en la corrección de impactos ambientales de actividades humanas que mueven tierras (minería, infraestructuras lineales, urbanización,...), debería priorizarse la restauración ecológica de los terrenos afectados, frente a la corrección del impacto visual. Ello es debido a que la primera posibilidad la recuperación de bienes y servicios ambientales, esenciales para hacer frente al desafío del Cambio Global. Para conseguir una verdadera restauración ecológica de estos espacios es preciso incorporar criterios geomorfológicos, puesto que el movimiento de tierras ha transformado el relieve y el sustrato, y el resto de componentes y factores del ecosistema (hidrología, suelos o vegetación) son directamente dependientes de la geomorfología.

AGRADECIMIENTOS

Además del contrato de investigación entre la UCM y la empresa Construcciones Lozoya, este trabajo repre-

BIBLIOGRAFÍA

- Bugosh N. 2002. Slope and channel reclamation using fluvial geomorphic principles at San Juan Coal Company Mines in New Mexico. In *Approaching bond release: Postmining land use in the arid and semi-arid west*, Abstracts, August 25–30, 2002, Office of Surface Mining, North Dakota State University and North Dakota Public Service Commission: Bismarck, ND.
- Martín Duque JF, Sanz MA, Bodoque JM, Lucía, A. & Martín, C. 2010. Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes. *Earth Surf. Proc. Landforms*, Volumen 35. Publicado on line DOI:10.1002/ESP.1950.
- Nicolau, J.M. 2003. Diseño y construcción del relieve en la restauración de ecosistemas degradados. Implicaciones ecológicas. En: Rey Benayas, JM, Espigares, T. y Nicolau, JM (eds). *Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos*. Pp. 173- 188. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- Rosgen, D.L. 1994. A Classification of Natural Rivers. *Catena*, Volumen 22. Pp. 169-199.

senta una contribución a los proyectos de investigación REMEDINAL 2 (S2009AMB-1783) y *Mejora de la eficiencia ecológica y económica de las restauraciones mineras mediante reconstrucciones geomorfológicas que favorecen el control hidrológico* (CGL2010-21754-C02-01), este último financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. ■