

Restauración Geomorfológica y Modelos de Evolución del Paisaje en el proyecto LIFE RIBERMINE

Geomorphic Restoration and Landscape Evolution Modelling at the LIFE RIBERMINE project

José F. Martín Duque¹, Cristina Martín Moreno¹, María Tejedor Palomino¹, Paul Royal², Gregory R. Hancock³

¹ Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, josefco@uclm.es, crismart@uclm.es, mariatejedor@uclm.es

² Génie Géologique, paulroyal@laposte.net

³ University of Newcastle (Australia), greg.hancock@newcastle.edu.au

Resumen: RIBERMINE https://liferibermine.com/es/homepage_es-2/ es un proyecto LIFE de la UE (2019-2024) cuyo objetivo principal es la estabilización erosiva y gravitacional, desde el corto al largo plazo, de antiguas zonas mineras, muy degradadas, de España (Peñalén, Guadalajara) y Portugal (Lousal, Grândola). El fin es eliminar impactos hidrológicos críticos sobre ecosistemas acuáticos situados aguas debajo de esas minas. En Peñalén (antiguas explotaciones de caolín), para garantizar dicha estabilidad, se han utilizado: (a) el método GeoFluv, para el remodelado de escombreras en cuencas hidrográficas funcionales; (b) el modelo SIBERIA, para predecir la tipología, tasas y localización de la erosión hídrica en las escombreras restauradas; (c) el método Talud Royal, para diseñar y construir escarpes rocosos similares a los naturales en antiguos frentes (rocosos) de explotación. Éstos se han completado con técnicas de reposición y manejo del suelo y la vegetación, así como de seguimiento. Al combinar GeoFluv, SIBERIA y Talud Royal, RIBERMINE es el proyecto de restauración minera más completo a nivel mundial en el uso de técnicas geomorfológicas. Con anterioridad a la restauración, las tasas de erosión en Peñalén se situaban en 353 Mg ha⁻¹ a⁻¹, valor obtenido mediante Diferencias de DEM (DoD) entre 1990 (abandono de la mina) y 2016 (pre-restauración). Tras la restauración, SIBERIA predijo tasas de erosión en 100 años de 5,2, 6,3 y 15,2 Mg ha⁻¹ a⁻¹ para las tres escombreras existentes. La medición directa de la sedimentación entre en varios diques, construidos con este fin en las zonas restauradas, ha permitido obtener valores inferiores para los primeros años tras la restauración (2022 y 2023), cuando la vulnerabilidad a la erosión es más elevada, pues la cubierta vegetal es menor. Las soluciones geomorfológicas de RIBERMINE se están transfiriendo en un ámbito global (Suecia y Colombia, entre otros), demostrando cómo la ciencia geomorfológica puede jugar un papel destacadísimo en la resolución de problemas económicos, sociales y ambientales de primer orden, permitiendo compatibilizar la necesaria actividad extractiva con la conservación de la calidad de los ecosistemas y paisajes donde ésta se desarrolla, minimizando la erosión hasta la línea base y maximizando la integración ecológica y paisajística de las restauraciones.

Palabras clave: Restauración geomorfológica, Modelos de Evolución del Paisaje, GeoFluv, Talud Royal, SIBERIA

Abstract: RIBERMINE https://liferibermine.com/es/homepage_es-2/ is an EU LIFE project (2019-2024) that aims the short to long term water erosion and mass movement stability of former highly degraded mining areas of Spain (Peñalén, Guadalajara) and Portugal (Lousal, Grândola). The goal is removing critical off-site hydrological impacts on aquatic ecosystems downstream. To guarantee such stability at Peñalén (former kaolin mines), we have applied: (a) the GeoFluv method, to regrade waste dumps into functional watersheds; (b) the SIBERIA LEM, to forecast the type, rates and location of water erosion at the restored waste dumps; (c) the Talus Royal method, to design and build cliffs similar to natural ones at former hard-rock mine highwalls. All that has been complemented with the reposition of soils and vegetation and proper monitoring. By combining GeoFluv, Talus Royal and SIBERIA, RIBERMINE is the most complete mine restoration project worldwide in terms of geomorphic techniques use. Before the restoration, erosion rates at Peñalén were 353 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, quantified by using Difference of Dems (DoD) between 1990 (mine abandonment) and 2016 (pre-restoration). After the restoration, SIBERIA forecasted erosion rates, in 100 years, of 5.2, 6.3 and 15.2 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ for the three existing waste dumps. Direct sediment measurement at check dams built for monitoring purposes has confirmed even lower erosion rates for the first years after restoration (2022 y 2023), when the erosion vulnerability is higher, due to lower vegetation cover. The geomorphic-based solutions from RIBERMINE are being transferred globally (i.e., Sweden and Colombia), demonstrating that geomorphology can play a key role to solve crucial economic, social and environmental problems, making compatible the needed mining activities with the also needed ecosystem and landscape conservation, minimizing erosion up to baseline values and maximizing ecological and landscape integration.

Key words: Geomorphic restoration, Landscape Evolution Models (LEM), GeoFluv, Talus Royal, SIBERIA

RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y MODELOS DE EVOLUCIÓN DEL PAISAJE EN EL PROYECTO LIFE RIBERMINE

Geomorphic Restoration and Landscape Evolution Modelling at the LIFE RIBERMINE project

José F. Martín Duque¹, Cristina Martín Moreno¹, María Tejedor Palomino¹, Paul Royal², Gregory R. Hancock³

1. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, josefco@ucm.es, crismart@ucm.es, maritejedor@ucm.es

2. Génie Géologique, paulroyal@laposte.net

3. University of Newcastle (Australia), greg.hancock@newcastle.edu.au



Resumen: LIFE RIBERMINE <https://liferibermine.com/es/homepage-es-2/> es un proyecto LIFE de la UE (2019-2024) cuyo objetivo principal es la estabilización erosiva y gravitacional, desde el corto al largo plazo, de antiguas zonas mineras, muy degradadas, de España (Peñalén, Guadalajara) y Portugal (Lousal, Grândola). El fin es eliminar impactos hidrológicos críticos sobre ecosistemas acuáticos situados aguas debajo de esas minas. En Peñalén (antiguas explotaciones de caolín), para garantizar dicha estabilidad, se han utilizado: (a) el método GeoFluv—Natural Regrade; (b) el modelo de evolución del paisaje SIBERIA; (c) el método del Talud Royal. Éstos se han completado con técnicas de reposición y manejo del suelo y la vegetación, así como de seguimiento. Al combinar GeoFluv, SIBERIA y Talud Royal, RIBERMINE es el proyecto de restauración minera más completo a nivel mundial en el uso de técnicas geomorfológicas.

GEOFLUV-NATURAL REGRADE

Con anterioridad a la restauración, las tasas de erosión en Peñalén se situaban en $353 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, valor obtenido mediante Diferencias de DEM (DoD) entre 1990 (abandono de la mina) y 2016 (pre-restauración) (Martín Moreno et al., 2019, Fig. 1). Para reducir esas tasas de erosión hasta niveles de la línea base (*baseline*), se utilizó el método GeoFluv – Natural Regrade. Este método de restauración geomorfológica (RG) se basa en el diseño de cuencas hidrográficas que replican a equivalentes naturales, desarrolladas sobre materiales, clima, suelo y vegetación similares, proporcionando estabilidad erosiva. Las lomas divisorias dentro de la cuenca se articulan como laderas complejas, con perfiles longitudinales convexo-cóncavos, incluyendo lomas secundarias y vaguadas. Los cauces construidos replican a los naturales en planta y sección, para transportar de modo no erosivo la escorrentía y el sedimento (Martín Duque et al., 2021).

La figura 2 sintetiza el proceso de restauración geomorfológica, mostrando: la situación de partida, el diseño geomorfológico GeoFluv-Natural Regrade y el resultado post-restauración (parcial).

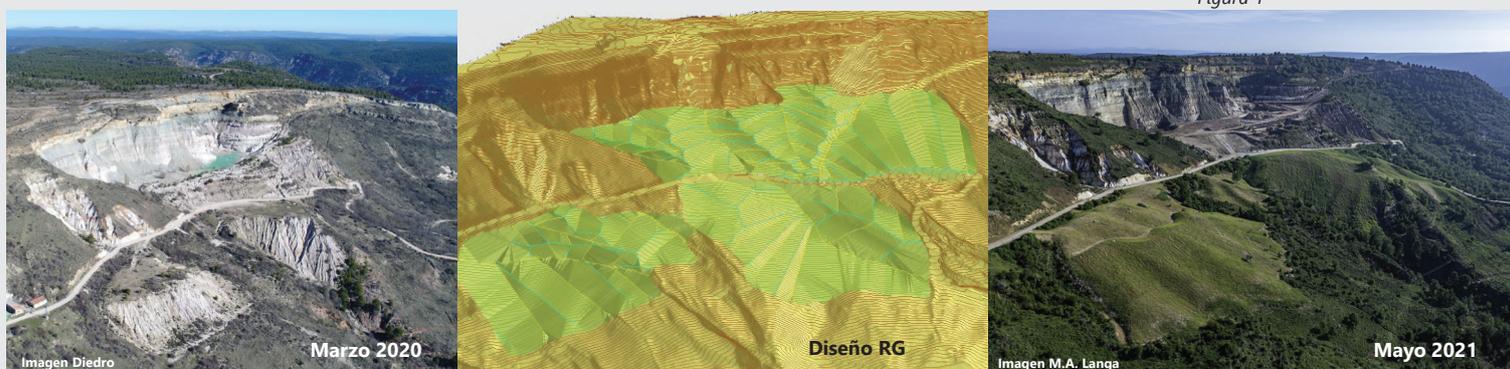


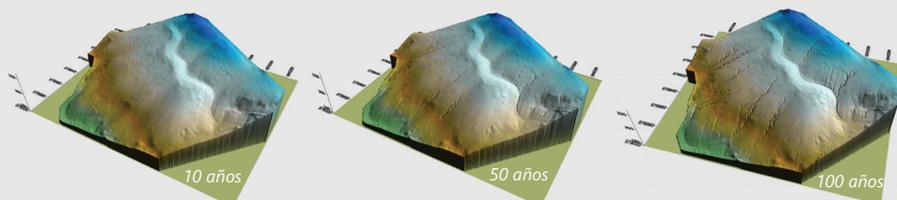
Figura 2



Figura 1

SIBERIA

Las herramientas verdaderamente adecuadas para estimar la estabilidad de la RG son los Modelos de Evolución del Paisaje (*Landscape Evolution Models, LEM*), como SIBERIA o CAESAR-Lisflood. Los LEM predicen las tasas de erosión ($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) o de rebajamiento (mm a^{-1}), su tipo (regueros, cárcavas, barrancos...) y dónde ocurrirá. Además, permiten visualizar cómo evoluciona el paisaje tras los procesos de erosión y sedimentación (Hancock et al., 2019). En LIFE RIBERMINE, SIBERIA predijo tasas de erosión en 100 años de $5,2$, $6,3$ y $15,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ para las tres escombreras existentes. La medición directa de la sedimentación entre en varios diques, construidos con este fin en las zonas restauradas, ha permitido obtener valores inferiores a los estimados por SIBERIA para los primeros años tras la restauración (2022 y 2023), cuando la vulnerabilidad a la erosión es más elevada.



	Escombrera exterior Este			Escombrera exterior Oeste		
	10 años	50 años	100 años	10 años	50 años	100 años
Tasa de erosión ($\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	5.0	5.1	5.25	5.25	5.9	6.3

	Escombrera antiguo frente de explotación		
	10 años	50 años	100 años
Tasa de erosión ($\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	24	17.4	15.2

TALUD ROYAL

Este método permite diseñar y construir taludes rocosos que reproducen acantilados naturales en zonas de excavaciones en macizos rocosos, obteniendo la máxima estabilidad y maximizando la integración visual y ecológica en su entorno. El objetivo es reconstruir escarpes que se adaptan a la estructura geológica y al modo en que se erosionan de forma natural, manteniendo por tanto la misma configuración geomorfológica de paisajes naturales. Para ello, el método utiliza un tipo de voladuras con diseño específico, que abren los planos naturales (diaclasas y/o estratificación) de las rocas. Posteriormente, el uso de retroexcavadoras, e incluso de limpiezas manuales puntuales, acaba por exponer las discontinuidades naturales. De este modo, las geomorfos que aparecen en el talud son similares a las que crearía la erosión natural (Genie Géologique, 2022).

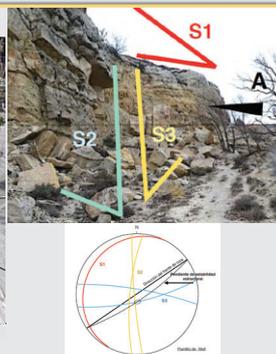


Imagen DGDROME

Imagen GEOMEX

Las soluciones geomorfológicas de RIBERMINE se están transfiriendo en un ámbito global (Suecia y Colombia, entre otros), demostrando cómo la ciencia geomorfológica puede jugar un papel destacadísimo en la resolución de problemas económicos, sociales y ambientales de primer orden, permitiendo compatibilizar la necesaria actividad extractiva con la conservación de la calidad de los ecosistemas y paisajes donde ésta se desarrolla, minimizando la erosión hasta la línea base y maximizando la integración ecológica y paisajística de las restauraciones.

REFERENCIAS

- Genie Géologique, 2022. Talus Royal, <https://www.2g.fr/talus-royal>
- Hancock, G.R., Martín Duque, J.F., Willgoose, G.R. 2019. *Environmental Modelling and Software*, 114, 140-151.
- Martín Duque, J.F., Zapico, I., Bugosh, N., Tejedor, M., Delgado, F., Martín-Moreno, C., Nicolau, J.M. 2021. *Ecological Engineering*, 170, 106359.
- Martín-Moreno, C., Martín Duque, J.F., Nicolau, J.M., Muñoz, A., Zapico, I. 2018. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43, 1431-1450.