RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE ESPACIOS AFECTADOS POR LA MINERÍA EN CASTILLA – LA MANCHA. POSIBILIDADES DE APLICACIÓN A LAS EXPLOTACIONES DE ÁRIDOS

Javier de la Villa Albares, Doctor Ingeniero de Minas, Jefe de Servicio de Minas de la Junta de Castilla-La Mancha, 925-267875, jvilla@jccm.es

José F. Martín Duque, Doctor en Geología, Profesor Titular, Universidad Complutense de Madrid, 91-3944857, josefco@ucm.es

RESUMEN: España lidera, a nivel europeo, el desarrollo de la Restauración Geomorfológica (RG) en minería. Está aproximación tiene un gran impulso en los países que se consideran la vanguardia en restauraciones mineras, como Estados Unidos o Australia. Castilla-La Mancha cuenta con el mayor número de casos, nueve, de RG a nivel nacional: Somolinos, Machorro, Nuria, María José, Blanquita y Alpedroches (Guadalajara); Mompichel y Casas del Cerro (Albacete); y Los Quebraderos de La Serrana (Toledo). Gracias al éxito de estos ejemplos, unido al de otros (como LIFE ECORESTCLAY, Tarragona), la Comisión Europea ha reconocido la RG como una Mejor Técnica Disponible (MTD) para la gestión de residuos de las industrias extractivas (Best Available Techniques Reference Document for the Management of Waste from the Extractive Industries, realizado en el marco de la Directiva 2006/21/EC). Aunque este documento no tiene un carácter vinculante, pone de relieve el valor de esta herramienta para la industria extractiva, proporcionando soluciones que sientan las bases para satisfacer, simultáneamente, al propio sector minero, al medio ambiente, a las comunidades locales y a las administraciones implicadas en las autorizaciones que requiere la actividad. Constituye, por tanto, un instrumento al servicio del bien común y la economía circular, perfectamente alineada con iniciativas como el Plan Estratégico de Recursos Minerales no Energéticos de Castilla–La Mancha (PERMINE) y el Pacto por la Recuperación Económica de Castilla-La Mancha (2015-2020). La comunicación explica la técnica, los ejemplos de Castilla–La Mancha, y las posibilidades de aplicación al sector de los áridos.

Adaptation article published in "V Congreso Nacional de Áridos (2018)"
(https://www.aridos.org/v-congreso-nacional-aridos-del-24-26-octubre-2018/)

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA

La Restauración Geomorfológica es una disciplina reciente, dirigida a diseñar y construir formas del terreno que imitan la morfología y dinámica de las naturales, allí donde el relieve original ha sido transformado —y los ecosistemas han sido degradados—, normalmente por actividades que "mueven tierras". Un ejemplo es la minería, pero también lo son la obra civil, la construcción de vertederos o la urbanización. Su objetivo es establecer, desde el inicio, las condiciones topográficas, hidrológicas y de arquitectura de sustratos (disposición de estériles, formaciones superficiales y suelos) que son estables para el escenario objeto de intervención (Martín Duque et al., 2010; Martín Moreno et al., 2016). Para ello es necesario: (a) realizar un diagnóstico adecuado de los factores que son determinantes para conseguir la estabilidad e integración de las nuevas geoformas; (b) encontrar un referente geomorfológico, estable, desarrollado en condiciones ambientales similares a las del lugar de actuación; (c) proceder a realizar los diseños asistidos por ordenador (formatos CAD).

En minería, en la mayor parte de los casos no es posible restaurar las condiciones físicas de los materiales de partida. Por ejemplo, al explotar un yacimiento metálico, las rocas consolidadas de la ganga pueden pasan a ser residuos no consolidados (escombreras formadas por derrubios, o colas de las balsas). Pero el objetivo sigue siendo reconstruir geoformas estables para las nuevas condiciones físicas de esos materiales. Paradójicamente, esta sencilla idea no es fácil de asimilar por la sociedad y las administraciones, pues en ocasiones se le exige a la minería algo quimérico: reproducir las condiciones pre-minería (lo cual, como decimos, al menos por lo que se refiere a las propiedades físicas de las rocas, suele ser imposible). En este caso, algunos métodos de Restauración Geomorfológica (como GeoFluv - Natural Regrade) reconstruyen cuencas hidrográficas funcionales, que recuperan la dinámica y valores de escorrentía, erosión, transporte y sedimentación de la "línea base"; es decir, de entornos equivalentes no afectados por minería (Zapico et al., 2018). En otros casos, las condiciones físicas de partida no cambian. Por ejemplo, un frente de explotación de una cantera sobre calizas, granitos o basaltos. Para estos espacios también es posible diseñar y construir relieves estables, mediante métodos como el denominado Talud Royal (que permiten replicar verdaderos acantilados

rocosos 'naturales'), sin que la erosión hídrica sea un aspecto crítico aquí. Una descripción de este método aparece en Martín Duque et al. (2011).

Un contexto singular de restauración geomorfológica se da cuando la actividad extractiva afecta a ríos 'perennes'. En este ámbito destaca la metodología sobre morfología fluvial aplicada de Rosgen (1996), que además tiene su desarrollo a través de otras herramientas, como el software RIVER-Morph (http://www.rivermorph.com/). Si bien el enfoque de Rosgen está cuestionado, dado que algunas restauraciones realizadas con esta base no han resistido ciertos fenómenos extremos o determinadas dinámicas naturales del cauce, también debido, sin duda, a la complejidad dinámica del medio fluvial, lo cierto es que constituye una solución mucho más avanzada y beneficiosa con respecto a los enfoques convencionales de canalización por obra. Algunos manuales de enorme interés sobre restauración fluvial son: García de Jalón y González del Tánago (2001), Magdaleno (2011) y Cabrero y Magdaleno (2014).

Según lo descrito, la restauración geomorfológica supera los tradicionales enfoques de rehabilitación o 'reclamación', y se sitúa en un contexto de verdadera 'restauración', pues permite sentar las bases para recuperar los procesos y la funcionalidad de los ecosistemas. En suma, la restauración geomorfológica puede considerarse como un proceso parcial, dentro de un enfoque más amplio de restauración ecológica, definido como: "el proceso de asistir a la regeneración de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos."(www.ser.org, 2004).

Los métodos de restauración geomorfológica más comunes (GeoFluv-Natural Regrade, Talud Royal, Rosgen-RIVERMorph) se complementan muy bien con el uso de métodos y modelos hidrológicos e hidráulicos (Número de Curva, Método Racional, HEC-HMS, HEC-RAS, Iber…) y de erosión-sedimentación (RUSLE, WEPP, MUSLE…). Éstos permiten evaluar la respuesta hidrológica, hidráulica, erosiva y sedimentaria de distintas soluciones de restauración (de todo tipo, y por supuesto, las geomorfológicas), mejorándolas (Nicolau, 2003). Yendo aún más lejos, los denominados Modelos de Evolución del Paisaje (Landscape Evolution Models, LEM), como SIBERIA, hacen posible predecir la evolución geomorfológica de una determinada solución de restauración a escala de décadas, siglos o milenios (Hancock et al., 2016).

Ante el impacto que ejerce la minería sobre el terreno, en ocasiones el relativo al medio hidrológico (cursos fluviales), o la posible afección, por ejemplo, a espacios naturales protegidos, y que pueden generar un fuerte rechazo social a la actividad extractiva, la Restauración Geomorfológica se está mostrando como una herramienta muy eficaz, que trata de aportar soluciones a problemas cuyo origen, al transformar el relieve, es geomorfológico. Esta forma de restaurar elimina el impacto hidrológico y la inestabilidad que lleva implícito el movimiento de tierras, y restablece paisajes restaurados que no son rechazados socialmente. Y es más eficiente que las restauraciones tradicionales, razón por la que este tipo de soluciones está experimentando, actualmente, un gran impulso a nivel mundial. Además de tener beneficios económicos, sociales, ecológicos y paisajísticos a nivel local, la Restauración Geomorfológica contribuirá de manera decisiva, en un futuro inmediato, a reducir y revertir los efectos del Cambio Global asociado a una creciente transformación de la superficie terrestre por actividades humanas que modifican el relieve.

1.2. VIABILIDAD Y ESTABILIDAD

Ante una propuesta de Restauración Geomorfológica para un espacio minero, la reacción inicial más común suele ser una sensación de “complejidad”. Esta reacción tiene mucho más de “miedo a lo desconocido” que lo que la realidad supone. Las soluciones de Restauración Geomorfológica no modifican en absoluto las técnicas y planes de explotación (en cuanto a voladuras, uso de maquinaria, avance de las explotaciones, etc.). Simplemente, adaptan las soluciones de acabado a los planes de explotación y maquinaria existentes, sean del tipo que sean. En realidad, la Restauración Geomorfológica es una herramienta al servicio del sector minero, para ayudarle a afrontar los retos actuales, de una mayor exigencia ambiental. La mayor eficiencia de la Restauración Geomorfológica se consigue cuando se acometen procesos de rehabilitación progresiva, es decir, combinando y programando la explotación y la rehabilitación. Y en espacios de minería abandonada, busca soluciones para minmizar el movimiento de tierras, de modo que si la historia del escenario ya ha configurado “pequeños valles” (huecos) o “colinas” escombreras, éstas se diseñan para que tengan un remodelado mínimo, otorgándoles un acabado estable e integrado en el entorno.

En las rehabilitaciones mineras, la Restauración Geomorfológica establece formas del terreno 'maduras'. Es decir, las que se desarrollarían en ese espacio a lo largo de cientos o miles de años de evolución erosiva y sedimentaria. Ello quiere decir que son formas más estables que las convencionales. Por poner un ejemplo simple, cuando queda expuesto un frente de explotación de rocas durante años, en él ocurren procesos erosivos: pequeñas caídas de rocas, erosión a favor de "corredores" en los que la roca está descompuesta o meteorizada… Pues bien, la Restauración Geomorfológica introduciría ese acabado "saneado" desde un inicio, de modo que las inestabilidades por caídas o erosión ya no ocurrirían, o lo harán de modo totalmente atenuado. Con ello queremos decir que los acabados son más estables "desde el principio". Dicho todo esto, es necesario subrayar también que cualquier solución de Restauración Geomorfológica debe adaptarse a las normativas que procedan en términos de Seguridad Minera. Varios artículos científicos e informes reportan y demuestran la estabilidad (geotécnica y erosiva) de las restauraciones geomorfológicas. No es objeto de este texto detallar todos ellos y simplemente referiremos a Zapico et al. (2018), dado que se centra en un caso de Castilla-La Mancha. Estos autores han monitorizado durante años la restauración GeoFluv – Natural Regrade de El Machorro (Poveda de La Sierra, Guadalajara), cuantificando tasas de erosión próximas a 4 t/ha/año, y la ausencia de formas y procesos erosivos o de inestabilidad gravitacional.

1.3. MAXIMIZAR LA BIODIVERSIDAD

Con frecuencia, la restauración minera convencional tiene como objetivo fundamental "evacuar" el agua de las zonas restauradas, mediante la construcción de cunetas, bermas, canalizaciones y bajantes, tratando de liberar la escorrentía fuera de los espacios mineros, o en balsas. Frente a este enfoque, la Restauración Geomorfológica busca manejar la escorrentía de los espacios restaurados de forma no erosiva en las laderas, favoreciendo su infiltración, y procurando que su circulación por vaguadas y cauces se produzca también de modo no erosivo, disipando su energía al hacerla circular por cauces en zig-zag y sinuosos (meandriformes), sin elementos de obra. Con ello, la mayor parte del agua que circula por espacios restaurados con un enfoque geomorfológico está disponible para distintas especies vegetales (sobre todo) y animales, incrementando mucho las condiciones de parti-

da para un aumento de la biodiversidad, asociado a la disponibilidad de agua, lo cual es esencial en ambientes mediterráneos, áridos y semiáridos.

Adicionalmente, la Restauración Geomorfológica promueve un incremento muy significativo en la amenidad de formas del terreno (lomas divisorias, vaguadas, cauces, escarpes y afloramientos rocosos…), que a su vez amplían mucho la variedad de pendientes y orientación del terreno, proporcionando una gran diversificación en exposiciones de solana y umbría. Ello a su vez se traduce en múltiples variaciones de retención de humedad. Todas esas diversificaciones, en conjunto, promueven un incremento muy significativo de la biodiversidad vegetal, ya sea mediante procesos de revegetación activos o pasivos.

La Restauración Geomorfológica de los espacios mineros favorece también la biodiversidad de la fauna por múltiples vías. Indirectamente, mediante los procesos recién descritos de incremento del agua disponible y de la diversidad vegetal. Y directamente, a través de la recreación y remodelado de una gran variedad de geoformas específicas, como cantiles y cortados rocosos, y cauces fluviales o cuerpos de agua con morfodinámicas equivalente a los naturales. En conjunto, esa mayor diversidad de hábitats (asociada al agua, a las comunidades vegetales y a determinadas geoformas), incrementa mucho las posibilidades de refugio, zonas de reproducción y alimento para la fauna. En realidad, la actividad extractiva puede incrementar el número de hábitats posibles con respecto a la situación pre-minería. La creación de cantiles y cortados y la aparición de masas de agua son casi siempre una constante. Esta reflexión podría llevar a establecer una argumentación simplista de que “la actividad minera es intrínsecamente beneficiosa para la fauna, y que no es preciso restaurar”, lo cual evidentemente no es cierto. Desde la Restauración Geomorfológica, con medidas complementarias de Restauración Ecológica, el razonamiento sería el siguiente: “en general, la actividad minera puede incrementar la diversidad topográfica e hidrológica, que debidamente manejada y remodelada, y mediante la restitución con enfoque ecológico de suelos y vegetación, puede ser extraordinariamente beneficiosa para la biodiversidad”. Y para ello se requieren enfoques expertos. Lo que tratamos de expresar, en definitiva, es que un manejo experto de restauración, con enfoques geomorfológicos y ecológicos, tiene muchas probabilidades de restituir una elevada biodiversidad en espacios mineros.

A modo de ejemplo, Salvador Rebollo y colaboradores, de la Unidad de Ecología de la Universidad de Alcalá, han iniciado una línea de investigación en esta dirección (Rebollo, 2016; Rohrer et al., 2016), precisamente en Castilla – La Mancha, con la empresa LAFARGE. Este grupo está estudiando cómo la actividad minera crea diversos tipos de ambientes (taludes, acopios, escombreras, caballones, e incluso las propias edificaciones) con enorme capacidad de atracción para determinadas especies de aves rupícolas, que sitúan allí sus nidos. Este potencial de atracción puede utilizarse para compatibilizar la actividad minera con la biodiversidad a través de la recreación de ambientes rupícolas, durante la vida útil de la mina, y durante y después de la restauración minera. Algunas especies con interés especial de conservación, como el avión zapador *(Riparia riparia)*, ya presentan sus principales poblaciones reproductoras europeas en los espacios mineros. Otras especies de aviones y golondrinas también se reproducen en los espacios mineros, así como diversas especies de collalbas, rapaces, córvidos, gorriones, etc., que en conjunto constituyen una compleja comunidad de fauna rupícola.

Sin embargo, como venimos argumentando, este potencial de las nuevas geoformas para atraer fauna rupícola debe gestionarse adecuadamente, de manera experta, para evitar fracasos masivos en la reproducción por interferencia con las actividades mineras (durante la vida útil de la mina) o por falta de alimento (durante la vida útil y en la fase de restauración) y evitar que los nuevos espacios rupícolas se comporten como 'hábitats trampa' (S. Rebollo, Com. Pers.). Es decir, hábitats que la fauna selecciona con preferencia, pero donde luego puede tener un bajo éxito reproductor. Por ello, la recreación de ambientes rupícolas durante la vida útil de la mina debe realizarse de manera que la actividad extractiva y/o de procesado no interfiera con la reproducción de las especies. Y durante la fase de restauración, la recreación de ambientes rupícolas debe realizarse de manera coordinada e integrada con otros enfoques de restauración, para que los lugares de nidificación se complementen con el aporte de hábitats adecuados de alimentación. También la Fundación Tormes EB (http://fundaciontormes-eb.org/) está liderando, a nivel nacional y europeo, un cambio en las prácticas de restauración minera, haciendo que éstas tengan como elemento vertebrador, la mejora de la biodiversidad.

2. RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN CASTILA-LA MANCHA

Como ya se indicó, la restauración geomorfológica nació en Estados Unidos en el año 2000, y desde entonces, ha tenido un amplio desarrollo, sobre todo, en Estados Unidos, Australia y Canadá. Su uso en Europa se restringe, de momento, sólo a España. Y dentro de España, Castilla – La Mancha es la Comunidad con mayor desarrollo de esta técnica. Baste para ello indicar el siguiente dato. La distribución de los 18 ejemplos a nivel nacional (entre proyectos diseñados y construidos) es la siguiente: 3 en Castilla y León (2 construidos), 3 en Cataluña (1 construido), 2 en la Comunidad Valenciana, 1 en Mallorca, y nada menos que 9 en Castilla - La Mancha (6 de ellos construidos). Éstos se distribuyen del siguiente modo:

Guadalajara: Somolinos (municipio de Somolinos), Machorro, Nuria y María José (municipio de Poveda de La Sierra), Alpedroches (municipios de Atienza y La Miñosa) y Blanquita (municipios de Sacedón y Auñón)

Albacete: Mompichel y Casas del Cerro (municipio de Chinchilla de Montearagón)

Toledo: Los Quebraderos de La Serrana (municipio de Noez)

De ellos, como también se comentó, los ejemplos de Somolinos, Machorro, Nuria y María José han dado lugar al reconocimiento por parte de la Comisión Europea de la Restauración Geomorfológica como una de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para la gestión de residuos de las industrias extractivas (*Best Available Techniques Reference Document for the Management of Waste from the Extractive Industries,* Directiva 2006/21/EC). Y en el año 2015, CAOBAR recibió el premio nacional de Minería Sostenible por su restauración geomorfológica.

Las imágenes que se muestran a continuación muestran algunos de los ejemplos de restauración geomorfológica de Castilla-La Mancha.

Figura 1. *Restauración geomorfológica de un sector de la mina El Machorro (Poveda de La Sierra, Guadalajara). Izquierda, antes de la restauración. Centro, tras la fase de remodelado del terreno y extendido de suelos. Derecha, estadios iniciales de establecimiento de la cubierta vegetal. Realizado por Excavaciones Félix Moya y CAOBAR.*

Figura 2. *Restauración geomorfológica en la explotación Mompichel (Chinchilla de Montearagón, Albacete), ejecutada por Aglomerados Albacete S.A. (grupo Eiffage). Izquierda, antes de la actuación. Derecha, después del remodelado topográfico y extendido de formaciones superficiales. Los círculos rojos y elipses azules constituyen puntos de referencia para la comparación.*

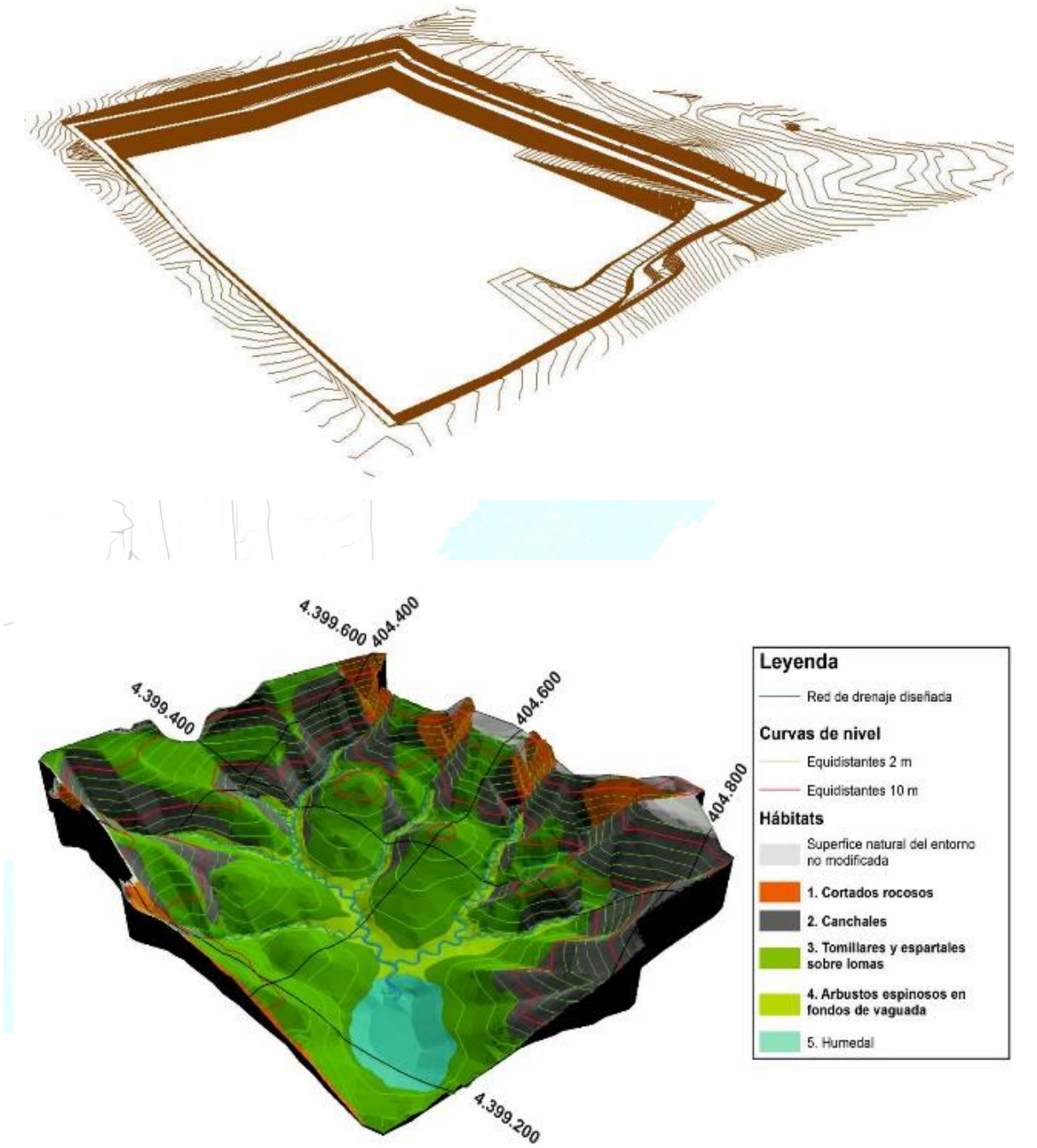

Figura 3. *Diseño de restauración geomorfológica de la cantera Los Quebraderos de La Serrana (Noez, Toledo), de Construcciones Lozoya S.A. Izquierda, hueco generado con el plan de explotación; derecha, propuesta de reconstrucción ecológica, restituyendo hábitats, sobre una base de restauración geomorfológica.*

Figura 4. *Restauración geomorfológica de un sector de la mina Nuria (Poveda de La Sierra, Guadalajara). Izquierda, situación anterior a la restauración (mayo 2017). Derecha, situación posterior al remodelado topográfico y restitución de formaciones superficiales (junio 2017). Realizado por Excavaciones Félix Moya y CAOBAR.*

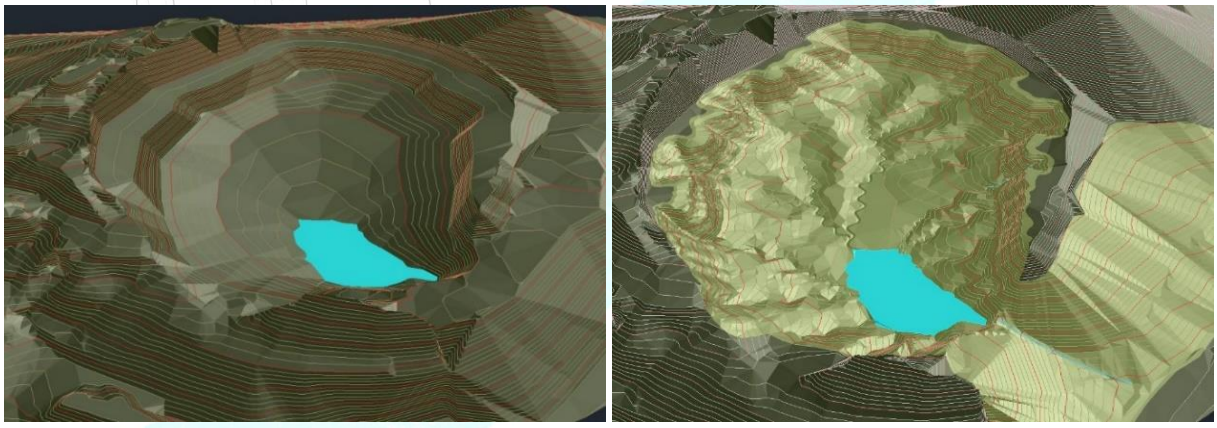

Figura 5. *Izquierda, vista 3D del plan de explotación de la cantera de Alpedroches (PROPEAL S.A.). Derecha, vista 3D de la propuesta de restauración geomorfológica que combina el método GeoFluv-Natural Regrade en la plataforma con un remodelado que replica acantilados rocosos en los frentes.*

Figura 6. *Restauración geomorfológica de un sector de la cantera de Somolinos (Guadalajara). Izquierda, antes de la actuación (mayo de 2011). Derecha, después del proceso de remodelado (junio de 2011). Realizado por Excavaciones Félix Moya y CAOBAR.*

3. POSIBILIDADES DE APLICACIÓN AL SECTOR DE LOS ÁRIDOS EN CASTILLA – LA MANCHA

No existen inconvenientes destacables para la continuación de la aplicación, y la extensión, de la Restauración Geomorfológica al sector de los áridos en Castilla – La Mancha. De hecho, algunos de los ejemplos mostrados pertenecen al sector de los áridos. Quizás las principales dificultades de aplicación no son tanto "técnicas" como relativas a algunas características comunes a este tipo de minería, tales como la dificultad para disponer de técnicos especializados en restauración en plantilla, la necesidad de incorporar replanteamientos topográficos sistemáticos en el proceso explotación – restauración, y en realidad, la dificultad de incorporar la restauración progresiva a sus explotaciones (a diferencia de la gran minería del carbón, por ejemplo).

4. REFERENCIAS

Cabrero, C. y Magdaleno, F. 2014. Buenas prácticas para el mantenimiento y conservación de cauces. Monografía M-123. CEDEX. Madrid. 121 pp.

García de Jalón, D., y González del Tánago, M. 2001. Restauración de ríos y riberas. Mundiprensa, Madrid, 319 páginas.

Hancock, G.R., J.B.C. Lowry y T.J. Coulthard. 2016. Long-term landscape trajectory – Can we make predictions about landscape form and function for post-mining landforms? Geomorphology 266: 121-132.

Magdaleno, F. 2011. Manual de técnicas de restauración fluvial. Monografía M-100 (2ª edición). CEDEX. Madrid. 300 pp.

Martín Duque, J.F., M.A. Sanz, J.M. Bodoque, A. Lucía y C. Martín. 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: 532-548.

Martín Duque, J.F., S. de Alba y F. Barbero. 2011. Consideraciones geomorfológicas e hidrológicas. Pp. 44-72. En: Valladares, F., L. Balaguer, I. Mola, A. Escudero, V. Alfaya (Eds.). Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases técnicas para soluciones científicas. Fundación Biodiversidad. Madrid.

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.

Nicolau, J.M. 2003. Diseño y construcción del relieve en la restauración de ecosistemas degradados. Implicaciones ecológicas. Pp. 174-186. En: Rey Benayas, J.M., T. Espigares y J.M. Nicolau (Eds). Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Posibilidades y limitaciones. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.

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. 11 pp. Toy, T.J., Hadley, R.F. 1987. Geomorphology and Reclamation of Disturbed Lands. Academic Press. London, 480 pp.

Rebollo, S. 2016. Mejora de hábitats para la fauna ¿creando hábitats fuente o trampas ecológicas? Conferencia Magistral impartida en el III Congreso Colombiano de Restauración Ecológica, Rionegro, Colombia, 19 al 21 de octubre de 2016.

Rohrer, Z.; Rebollo, S., y Gegúndez, P. 2016. Habitat recovery for cliff-nesting bird species at quarries. Póster presentado en el 10th European Conference on Ecological Restoration de la SER Europe celebrado en Freising, Alemania el 22 de agosto de 2016.

Zapico, I., Martín Duque, J.F., Laronne, J.B., Bugosh, N., Ortega, A., Molina, A., Martín-Moreno, C., Nicolau, J.M., Sánchez, L. 2018. Geomorphic Reclamation for reestablishment of landform stability at a watershed scale in mined sites: the Alto Tajo Natural Park, Spain. Ecological Engineering 111: 100-116.