



9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1457

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza



Reconstrucción de geoformas y hábitats naturales para la restauración ambiental de espacios protegidos en las canteras de Alpedrete

ROMERO DE LARA, A. (1), CANTERO DESMARTINES, J. (1), MARTÍN DUQUE, J.F.(2)

(1) Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior de la Comunidad de Madrid. Dirección General de Biodiversidad y Gestión Forestal

(2) Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid
Resumen

Se describe la restauración ambiental de antiguas canteras de granito del municipio de Alpedrete (Madrid), ejecutada por la Comunidad de Madrid durante los años 2023 y 2024 con financiación del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Esta restauración se inició con una reconstrucción geomorfológica, replicando los paisajes graníticos del entorno. Para ello se realizó un diseño geomorfológico particularizado de 22 canteras y más de nueve hectáreas de superficie, utilizando las técnicas más avanzadas. También se efectuó una recuperación edáfica, aprovechando los acopios de los suelos naturales que habían sido retirados en su día, para lograr una colonización natural de los terrenos, y se han realizado siembras de especies pascícolas y plantaciones de árboles y arbustos con fines diversos. Se han adecuado antiguas chozas de mampostería en seco, asociadas a la cantería, para su uso por murciélagos, combinando así la protección del patrimonio cultural y de la fauna. Asimismo, se construyeron majanos y se realizaron campañas de extracción de fauna invasora. Finalmente, se diseñó una senda temática para divulgar los valores etnográficos, patrimoniales y naturales del espacio. Esta restauración parte de una reconstrucción geomorfológica, siendo la primera de toda Europa con este enfoque en canteras de granito.

Palabras Clave

Geomorfológica, ecológica, rehabilitación, paisajes graníticos.

1. Introducción

En España, durante el último siglo y medio, los trabajos de restauración en el ámbito forestal se han centrado principalmente en reponer la cubierta vegetal que había ido desapareciendo por diversas circunstancias: los cultivos de supervivencia de los pueblos cercanos; el sobrepastoreo, con sus nefastas consecuencias de deforestación y erosión, y ahora, cuando la superficie forestal se ha ido recuperando merced a las sucesivas repoblaciones, los incendios.

Así pues, se asimila la restauración del medio natural a la reforestación del territorio. Qué duda cabe que los paisajes naturales se entienden como escenarios en los que los montes, las navas o las vegas se ven cubiertas con su vegetación propia, sea cual sea esta. Sin embargo, durante las últimas décadas se han producido grandes avances que han auspiciado la evolución del concepto de repoblación hacia el de restauración ambiental.

Ahora cabe contemplar el incremento de la biodiversidad en las repoblaciones,

buscar nuevos modelos de naturalizar los montes una vez que la vegetación implantada se ha consolidado, con un cuidado creciente por sus repercusiones en el paisaje. Y también, recuperar cuantos tipos de heridas han venido aquejando a la naturaleza, como las que aquí nos ocupan: explotaciones mineras que han alterado el terreno, yendo su impacto más allá que al simple manto superficial. Tal es el caso que se va a exponer en esta comunicación, donde la restauración ambiental no pasa simplemente por restablecer la cubierta vegetal, sino que se aborda de una manera integral la recuperación del relieve, de la red hidrológica, del sustrato, del suelo, de la vegetación, de la fauna y del uso público.

Durante el año 2020, la Unión Europea (UE) acordó, como respuesta a la pandemia de COVID-19, poner en marcha el mayor programa de ayuda de su historia, llamado *Next Generation EU*. Su pieza central es el Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR), que tiene como finalidad apoyar a los Estados miembros para lograr una recuperación sostenible y resiliente, al tiempo que se promueven las prioridades ecológicas y digitales de la UE.

Dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) diseñado por España para el logro de dichos fines, se incluye en el componente n.º 4 “Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad” y dentro de la inversión tercera “Restauración de ecosistemas e infraestructura verde”, un conjunto de actuaciones cuyo objetivo es, entre otros, restaurar los ecosistemas naturales y las zonas degradadas por actividades mineras.

Para el caso concreto de la minería, se contempla *rehabilitar al menos 30 antiguos emplazamientos mineros*, incluyendo la descontaminación del suelo, la recuperación de las formas del relieve y el reverdecimiento y la naturalización de explotaciones que ya no estén en funcionamiento, debiendo finalizar su ejecución antes del 30 de junio de 2026.

En la distribución territorial entre las comunidades autónomas se seleccionaron cuatro actuaciones en la Comunidad de Madrid, destinándose un presupuesto de 500 000 € a la restauración ambiental de las canteras de Alpedrete (*C04.I03.P02.S07/Rehabilitación de antiguos emplazamientos mineros-MAD*), dentro de los montes de utilidad pública (MUP) 26 “Cañal, Ladera y Entretérminos” y 27 “Dehesa Boyal”.

Quizás este ejemplo de restauración ambiental sirva de inspiración para abrir nuevas vías de recuperación de la naturaleza en España.

2. Objetivos

El objetivo del proyecto ha consistido en abordar la restauración ambiental de una superficie forestal localizada en un espacio protegido que se encontraba fuertemente alterada por la actividad cantera.

Dicha restauración se ha ejecutado con un enfoque multidisciplinar en el que se ha

buscado generar una nueva coherencia del paisaje con ayuda de las tecnologías de diseño más punteras, en la que se integrase en la ejecución del proyecto: 1) las características geomorfológicas naturales que evocasen las condiciones del terreno antes de la intervención minera; 2) la creación de un elevado número de hábitats como garantes de biodiversidad y, 3) la conservación de elementos etnográficos como testimonio de la antigua actividad cantera arraigada en la cultura local.

Además, se han ejecutado actuaciones concretas para favorecer el estado de la flora y la fauna y para canalizar el uso público en este espacio.

3. Metodología

Ya en junio de 2022, una vez identificada la oportunidad de ejecutar esta restauración, la Comunidad de Madrid abordó, con la mayor celeridad posible para cumplir con los plazos legales asociados a dicha ayuda, la redacción del proyecto de ordenación de ambos montes, en el cual se caracterizaron la mayor parte de las canteras existentes a través de un exhaustivo inventario.

Como resultado, se identificaron más de 400 zonas alteradas, entre canteras y escombreras procedentes de la apertura y explotación de estas, con unas dimensiones que varían desde unos pocos metros cuadrados de superficie y frentes menores de un metro de alto hasta tres hectáreas y frentes de más de diez metros. Todas estas zonas suman cerca de 35 ha, lo que supone un 9 % de la superficie total de ambos montes.

A partir del inventario, se definió la prioridad de actuación, según criterios técnicos y científicos: grado de naturalización, valor ecológico, impacto visual o potencial uso público (Figura 1).

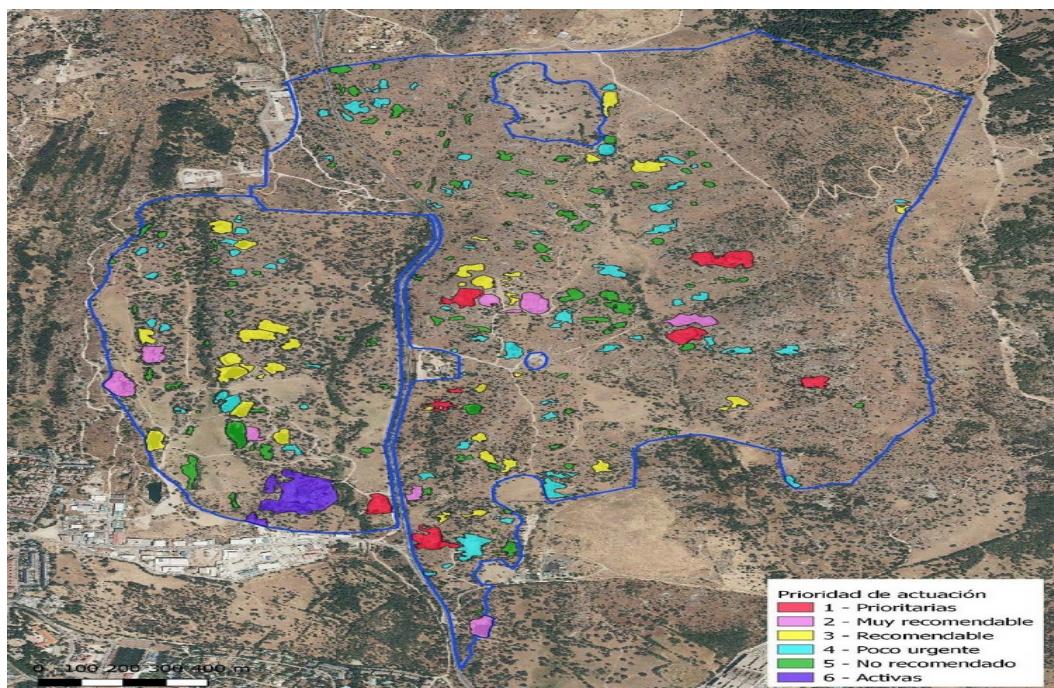


Figura 1. Inventario de canteras con prioridades de actuación extractado del proyecto de ordenación

Posteriormente, en colaboración con la Universidad Complutense de Madrid, se redactó el proyecto de restauración según los criterios del citado inventario, integrando en el mismo una suerte de soluciones que hacen del proyecto un ejemplo de tratamiento multidisciplinar. Entre estas actuaciones destaca la restauración geomorfológica de huecos mineros, sin olvidar otras actuaciones específicas destinadas a favorecer a la fauna, a la valorización del patrimonio cultural y etnográfico, a la ordenación del uso público y a la mejora de las condiciones para los aprovechamientos directos del monte, tales como la ganadería y el uso cinegético.

Para la ejecución del proyecto se ha partido de una comprensión de los paisajes graníticos (Pedraza et al., 1989) de este sector del piedemonte sur de la sierra de Guadarrama, y de los ecosistemas y usos humanos desarrollados sobre aquellos.

En el caso concreto de las zonas de actuación, para un correcto análisis del proyecto, previamente debe tenerse en cuenta que estos montes están sometidos a las duras condiciones del clima mediterráneo. En tal sentido, la temperatura media anual de la zona es de 13,3 °C, aunque presenta una acusada amplitud térmica, con valores absolutos entre -8 °C y 41 °C, siendo el periodo de helada probable de seis meses.

En cuanto a las precipitaciones, la media anual en el municipio es de 630 mm, y la precipitación máxima absoluta en 24 horas alcanza el valor de 63,9 mm. A lo largo de las estaciones del año, el máximo de precipitaciones se da en otoño (32,6 %), seguido de invierno (31,8 %) y primavera (26,9 %).

Respecto a las condiciones edáficas, cabe destacar la naturaleza ligeramente ácida; la escasez de suelo derivada de la actividad extractiva; la pobreza en nutrientes del mismo; el predominio de texturas gruesas procedentes de la disagregación del granito, y la casi inexistente presencia de materia orgánica.

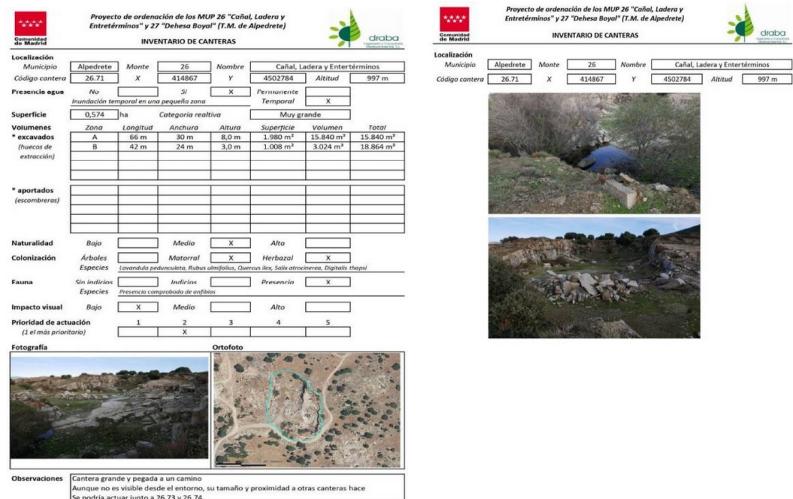
Teniendo en cuenta estas condiciones, se abordó el proyecto de restauración. Su principal característica ha sido el enfoque holístico, con una sólida base ecológica.

Además, la planificación temporal de los trabajos se ha diseñado para minimizar las afecciones a la fauna, especialmente aves y anfibios durante su periodo de reproducción y cría, y evitar situaciones de peligro durante el periodo con riesgo de incendio.

1. Inventario de canteras

- Como ya se ha indicado, la redacción del proyecto de restauración de las canteras se ha apoyado en el proyecto de ordenación de los dos MUP. Sin

ninguna duda, el rasgo más característico de estos montes es la presencia de un gran número de canteras de granito abandonadas, que suponen un reto para su gestión. La masa forestal del monte consta principalmente de encinares poco densos, donde no se detectan necesidades de tratamientos selvícolas (aunque sí medidas para fomentar la regeneración natural) y una repoblación de pinos de escaso desarrollo. Por ello, en este caso, el esfuerzo del inventario, en lugar de centrarse en las existencias arboladas, se centró en varios aspectos diferentes: canteras existentes, presencia de hábitats de interés comunitario y edificaciones tradicionales asociadas a la cantería. El inventario de canteras comprende 235 puntos de extracción de granito. Estos puntos varían mucho, desde pequeñas explotaciones a grandes canteras. A cada punto se le asignó un código, precedido de la cifra 26 o 27 según el MUP al que se refiriera, y se recogió información de su localización y delimitación, ocupación y altura, presencia de agua, fauna y vegetación e impacto visual, así como fotografías de cada zona (Figura 2). Con esta información se efectuó una jerarquización de las canteras en cinco categorías, según la prioridad de



actuación.

Figura 2. Ficha descriptiva de la cantera 26.71 incluida en el Inventario de canteras del proyecto de ordenación El número de canteras existentes es ingente, y los fondos para acometer su restauración, limitados, por lo que la primera decisión a tomar fue decidir dónde se actuaría. El inventario ha servido de base para esta toma de decisiones, buscando las canteras más interesantes de cara a su restauración, pero tratando de abarcar diferentes tipologías. 2. Restauración geomorfológica La restauración geomorfológica es el proceso de diseñar y reconstruir geoformas, sustratos y paisajes que repliquen la morfología y la dinámica de sus equivalentes naturales, allí donde el terreno ha sido gravemente transformado y degradado por actividades humanas que mueven tierras, con el objetivo de maximizar su estabilidad e integración visual y ecológica (MARTÍN DUQUE, 2024). En las canteras de Alpedrete, restituir el paisaje anterior a la explotación era imposible, puesto que de ellas se extrajo un volumen muy importante de roca, cuya reposición resultaba inviable, al tiempo que se habían cambiado las condiciones físicas del terreno. Acometer un remodelado geomorfológico era la mejor opción desde un punto de vista de la renaturalización, puesto que la disposición de escombreras y excavaciones que había dejado como legado la histórica actividad extractiva se manifestaba caótica y artificial, totalmente alejada de las configuraciones

de los paisajes circundantes, con un impacto ambiental muy significativo. Y aunque algunas de estas escombreras mostraban cierto tipo de colonización vegetal, siempre lo hacía sobre configuraciones topográficas muy artificiales. En el caso de los huecos, las canteras generaron cortados rocosos y láminas de agua de interés ecológico, visual y recreativo, y las actuaciones de reconstrucción geomorfológica estaban obligadas a respetar y mejorar ambos elementos morfológicos de partida. Sobre estas bases, el proyecto de restauración ambiental incluyó un diseño geomorfológico *ad hoc* para un conjunto de 22 canteras. Para cada escenario, se utilizaron dos métodos de diseño de nuevos relieves, uno dirigido a sustratos no consolidados (antiguas escombreras), y otro, a los cortados rocosos (antiguos frentes de explotación). A. Método *GeoFluv-Natural Regrade*

Para las antiguas escombreras, se utilizó el método *GeoFluv-Natural Regrade* (ver MARTÍN DUQUE et al., 2019, 2020; MARTÍN DUQUE, 2024), que consiste en:

- Identificar paisajes desarrollados en el mismo contexto fisiográfico en el que se ubican los espacios objeto de restauración, en los cuales no ha habido una transformación topográfica, para su réplica; estos paisajes se denominan “análogos naturales”. Para este proyecto, dado que se encuentra en un contexto de paisajes graníticos (PEDRAZA et al., 1989) dominados por afloramientos rocosos, y puesto que el objeto de remodelación geomorfológica (con este método) son antiguas escombreras (material no consolidado), se localizaron redes de drenaje desarrolladas en zonas de sustrato granítico meteorizado (arenización) de la sierra de Guadarrama. Una vez ubicados esos referentes, se midieron en ellos una serie de variables morfológicas. Por ejemplo, longitudes de los tramos rectos de las redes de drenaje —dentro de un patrón zigzagueante—, longitudes de los tramos convexos y cóncavos de las laderas, densidades de drenaje o distancia desde las divisorias al inicio de las redes de drenaje.
- A partir de los datos topográficos en formato digital (CAD) de los espacios objeto de restauración, se proyectaron configuraciones de paisajes que copian o imitan a los análogos naturales.

B. Método para replicar pequeños cortados rocosos

Para los antiguos frentes de explotación, la fuente de inspiración fue el método *Talus ROYAL®*, que consiste en replicar pequeños cortados rocosos, similares a los naturales, en taludes artificiales de excavación. Como resultado, se obtienen escarpes de suma estabilidad, que maximizan su integración visual y ecológica en el entorno, dado que se adaptan a la estructura geológica y a los patrones erosivos naturales, manteniendo el carácter y la armonía con el paisaje circundante.

La aplicación de este método en minas o carreteras comienza con un diseño específico de voladuras, que busca que las rocas del macizo se rompan de acuerdo a los planos de discontinuidad ya existentes. En el caso de Alpedrete, como se partía de unos frentes de explotación abandonados e inestables, se pasó directamente a la segunda fase del método, que consistió en desmontar los bloques sueltos mediante una máquina retroexcavadora, siguiendo la red tridimensional

de fracturas del macizo rocoso: diaclasas curvas, o lanchares, y red de direcciones dominantes de diaclasas verticales. Con los bloques extraídos, se reprodujeron acumulaciones equivalentes a canchales y pedreras.

La restauración se diseñó de forma muy cuidadosa. Se proyectó que quedaran expuestos estos antiguos frentes de explotación, pero saneados y configurados como pequeños escarpes naturales. Al obrar así, en el futuro: (a) estos paisajes se pueden interpretar y explicar como lo que son, antiguas canteras, y (b), se pueden seguir desarrollando estudios sobre estas rocas, tratando de identificar qué tipo concreto de granito se extraía en cada una y a qué espacios o edificios se destinaron. En definitiva, en lugar de tapar los huecos mineros, las actuaciones fueron respetuosas, manteniendo los antiguos frentes de explotación, pero eliminando riesgos y naturalizándolos.

C. Ejecución de la restauración geomorfológica

Antes del inicio de las obras, se formó específicamente a los trabajadores y maquinistas acerca de los métodos de reconstrucción geomorfológica, diferentes a los habituales en ingeniería del terreno. Con posterioridad, se realizó el replanteo topográfico de las configuraciones proyectadas para las antiguas escombreras —diseños en formato CAD de nuevos paisajes, con morfología de pequeñas cuencas hidrográficas—. En el caso de los frentes rocosos, no se realizaron diseños por ordenador, pero se establecieron unas directrices precisas para los maquinistas, de modo que aprendieran a identificar las redes de fracturación del macizo rocoso y las configuraciones tridimensionales que debían conseguir a partir de las mismas, ‘esculpiendo’ cortados ‘naturales’ y construyendo canchales naturalizados con los bloques desmontados. Durante la ejecución de la obra se contó con la siguiente maquinaria: dos buldóceres (D6 y D4, usados en distintas fases), dos retroexcavadoras y un camión articulado (Figura 3).



Figura 3. Maquinaria trabajando en la restauración de las canteras de granito de Alpedrete: buldócer D6, dos retroexcavadoras y camión articulado

4. Resultados

1. **Resultados de la restauración geomorfológica** Partiendo de las acumulaciones de escombreras dispersas y caóticas derivadas de las antiguas canteras, se reconstruyeron pequeñas cuencas hidrográficas, bien rellenando el fondo de los antiguos huecos de explotación, bien en posiciones exteriores a los mismos, con sus característicos elementos de redes de drenaje, cerros, lomas, vaguadas y vallejos. Donde había láminas de agua, temporales o permanentes, los diseños de restauración geomorfológica no solo respetaron escrupulosamente esos humedales, sino que se aprovecharon como lugares para drenar y conectar la escorrentía, logrando ampliar su número. A partir de antiguos frentes de explotación, normalmente caóticos y peligrosos, se ‘esculpieron’ pequeños cortados rocosos ‘artificialmente naturales’. La tabla 1 recoge una síntesis con la configuración de las antiguas canteras, las geoformas reconstruidas en la restauración y los hábitats y paisajes asociados a esas nuevas geoformas. *Creación de hábitats y micropaisajes en la restauración de las canteras* (Tabla 1)

Configuración de las antiguas canteras	Geoformas tras la restauración geomorfológica	Hábitats y paisajes tras la restauración
	1	Cortados rocosos Zonas rupícolas (1) - cortados
Huecos	2	Lanchares Zonas rupícolas (2) - losares
	3	Zonas encharcadas Humedales estacionales o permanentes
	4	Canchales Pedreras, gleras, pedregales, majanos
	5	Pequeñas lomas Pastizales sobre lomas
Escombreras	6	Pequeñas vaguadas Vegetación freatófita sobre vaguadas
	7	Caucos y pequeños valles Vegetación ripícola
	8	Bolos graníticos, piedras berroqueñas Berrocales

La figura 4 muestra un espacio donde es posible identificar siete de los ocho hábitats reconstruidos.



Figura 4. Representación de geoformas reconstruidas en la restauración de la cantera 26.71. 1 – cortados rocosos; 2 – lanchares; 3 - zonas encharcadas; 4 - canchales; 5 - pequeñas lomas; 6 - pequeñas vaguadas; 7 - cauces. El elemento 8, bolos graníticos, queda fuera de la imagen (véase tabla 1 para terminología)

En las imágenes de la figura 5 se muestra el resultado de la restauración geomorfológica de una cantera, tanto el punto de partida (imagen en 3D), como el diseño con *GeoFluv-Natural Regrade*, y el resultado final de las obras.

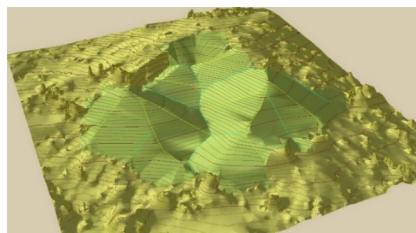




Figura 5. Arriba, izqda.: cantera antes de su restauración. Arriba, dcha.: diseño por ordenador (CAD) del paisaje de restauración. Abajo: resultado tras la restauración (en marrón, una red orgánica)

En las imágenes de la figura 6 se muestran dos perspectivas distintas de la misma cantera, antes y después de la restauración.

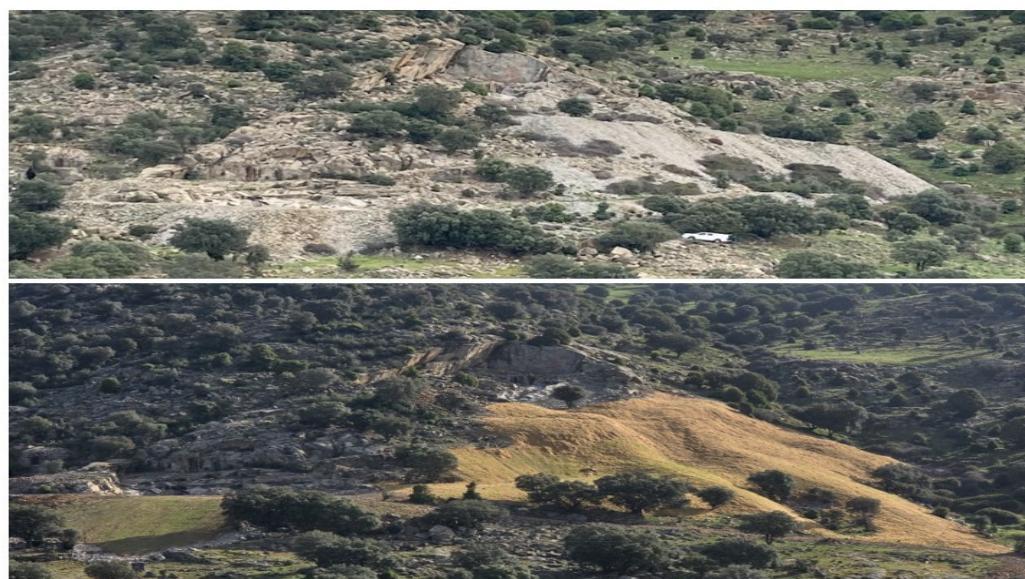




Figura 6. Arriba: cantera con anterioridad a la restauración. Abajo: aspecto tras el remodelado topográfico, extendido de suelos y revegetación

En las imágenes de la figura 7 se muestra un cortado rocoso antes y después de su naturalización mediante el método *Talus ROYAL®*.



Figura 7. Izquierda: aspecto de un antiguo frente de explotación en su estado de abandono. Derecha: aspecto del mismo frente tras haber sido remodelado con una aproximación geomorfológica

La reconstrucción geomorfológica ha maximizado la estabilidad geotécnica, ha minimizado el riesgo de erosión del terreno y ha ampliado el potencial ecológico del lugar, creando y generando nuevos hábitats: cortados rocosos para especies rupícolas, canchales que sirven como majanos y refugio para conejos, humedales estacionales y nuevos paisajes de cuencas hidrográficas, con cerros, lomas, vaguadas y cauces, sobre los que se establecerá un mosaico vegetal diverso, adaptado a las distintas condiciones de pendiente, exposición y humedad.

2. **Reposición de suelos** La reposición de los suelos es un factor esencial para lograr la restauración ecológica de terrenos alterados por actividades humanas (como minas o canteras), sobre todo en regiones con climas de cierta aridez. En la actualidad es una práctica habitual en la minería y las obras públicas recuperar, acopiar y reutilizar la capa superficial del suelo. Sin embargo, en el pasado, esta formaba parte del conjunto de estériles o residuos que se retiraban y desechaban sin control alguno. En el caso de Alpedrete, afortunadamente, y dado el pequeño tamaño de las explotaciones, los suelos originales se encuentran habitualmente en las cercanías de las canteras abandonadas, mezclados con arenas (productos

de la meteorización del granito), dando lugar a escombreras. Esa mezcla de arenas y antiguos suelos, de nulo valor minero, constituye en cambio un magnífico sustrato, que sirve de punto de partida para la colonización vegetal, y para el desarrollo de futuros suelos, similares a los que existieron en estas zonas en el pasado. Por ese motivo, fueron identificados, recuperados y extendidos sobre superficies de estériles de arenas y bloques de roca. Con ello se ha evitado la huella ecológica que hubiera tenido la importación de materiales exteriores para la creación de tecnosuelos. Además, se aprovecha el banco de semillas y propágulos vegetales de especies nativas existente en estos suelos (Figura 8).



Figura 8.

Acopios de tierra recuperada procedente de desechos de la explotación de canteras

3. Recuperación de la cubierta vegetal Una parte esencial de la restauración ecológica es la recuperación de la cubierta vegetal. No obstante, el objetivo en un proyecto como este no es tanto reimplantar una cubierta vegetal en las zonas alteradas como lograr las condiciones apropiadas para una colonización natural, así como para lograr una dinámica sucesional

adecuada en la vegetación. Antes de la ejecución del proyecto, la evolución de la cubierta vegetal en las canteras estaba estancada debido a la falta de suelo. La remodelación geomorfológica ha permitido suavizar las formas y aportar suelos disagregados sobre las superficies ocupadas anteriormente por losas de piedra o escombreras, lo que favorece el desarrollo de la vegetación, como se ha ido poniendo de manifiesto con el paso de los primeros meses tras la finalización de las obras. El mayor riesgo que existe en algunas zonas remodeladas es la erosión, ya que impide la colonización de la vegetación, y con ello su asentamiento, estabilización y evolución. Para evitar esos problemas erosivos, además del incremento intrínseco de la estabilidad que introduce reproducir geoformas similares a las naturales, en las zonas de actuación de mayor pendiente, sobre todo escombreras en ladera remodeladas, se ha realizado una siembra y se ha colocado una red de fibra de coco (Figura 9). En otras zonas con un riesgo menos acusado de erosión, solo se ha sembrado. En la mezcla de semillas se han incluido nueve especies pratenses rústicas nativas en la zona y tres especies leñosas. Sin embargo, su objetivo no es tanto implantar una cubierta herbácea definitiva como estabilizar los terrenos y favorecer su colonización por especies de flora local, en su mayor parte no comercializadas y por tanto no disponibles para su empleo en siembras.



Figura 9. Red de fibra de coco instalada en cantera restaurada Así, desde el primer momento, la naturaleza ha seguido su curso. Los movimientos de tierras han traído y llevado el banco de semillas que albergaban, las cuales han germinado en el lugar que les ha tocado en suerte, que no siempre es el idóneo. Es decir, las diferentes especies solo son capaces de medrar en los puntos donde se dan sus requerimientos ecológicos. Así, en los nuevos micropaisajes, las especies de sitios de humedad permanente ocupan su nicho, como las de humedad estacional el suyo o como las anuales más frugales los puntos más expuestos a la insolación y desprovistos prácticamente de suelo. Con el cambio del año meteorológico se ha puesto de manifiesto una primera reordenación de las especies, que van ciñéndose a sus hábitats, así como una densificación de la cubierta herbácea y un aumento de la presencia de especies vivaces. En este sentido, en la

cantera 26.71 antes citada, con una superficie de alrededor de 5740 m², la cual fue cerrada al ganado a fin de poder estudiar su colonización vegetal, en un corto periodo de prospección (aproximadamente, dos meses) se han identificado cerca de 100 especies diferentes (entre ellas, dos exóticas). Esto demuestra el éxito de esta estrategia, y el enorme potencial de colonización de la vegetación natural, en el momento en que existen condiciones geomorfológicas y edáficas apropiadas para su desarrollo (Figuras 10 y 11).



Figura 10. Detalle de regenerado natural inmediato en cantera restaurada



Figura 11. Detalle de regenerado natural un año después de la finalización de las obras en la misma cantera restaurada de la imagen anterior
 Adicionalmente, se han realizado algunas otras actuaciones de implantación vegetal más localizadas. En zonas favorables se ha realizado un estaquillado de salgueras (*Salix salvifolia* y *S. atrocinerea*) del entorno inmediato y una siembra otoñal de bellotas de encina (*Quercus rotundifolia*), que han germinado satisfactoriamente. Es preciso un seguimiento continuado en el tiempo, para determinar su supervivencia y desarrollo. También se han plantado zarzamoras (*Rubus ulmifolius*)

obtenidas en la misma zona de actuación. En zonas más frescas se han plantado algunos fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y arces (*Acer monspessulanum*). Asimismo, con el fin de proteger aquellas canteras con mayor presencia de anfibios, se ha optado por especies espinosas como rosa silvestre (*Rosa canina*), majuelo (*Crataegus monogyna*) y endrino (*Prunus spinosa*). La presencia de ganado, doméstico y silvestre, y la abundancia de conejos, ha obligado en algunos casos a proteger estas plantaciones mediante jaulones de diversa tipología.

4. Actuaciones de mejora de la fauna Como resultado de la restauración ambiental se han recuperado nueve hectáreas de terreno degradado que pueden ser aprovechadas por el ganado doméstico y la fauna silvestre. También se han ejecutado vivares para conejos. Además, se han construido canchales dentro de los micropaisajes creados durante la restauración, que sirven como majanos para el refugio de los conejos y la variada microfauna del lugar. En el proyecto de ordenación se incluyó un inventario de edificaciones presentes en los montes, incorporando antiguas chozas o casetas de mampostería en seco asociadas a la explotación de las canteras. Estas chozas suponen un elemento patrimonial singular, que merece ser protegido y recuperado. Pero, además, son instalaciones potencialmente idóneas para el refugio de diversas especies de murciélagos presentes en la comarca. Téngase en cuenta que en el mismo MUP 26 existe una cueva artificial de apreciables dimensiones ocupada por murciélagos. En una actuación paralela, esta cueva se ha limpiado y cerrado al paso con una puerta diseñada para permitir el acceso de estos mamíferos. Es de esperar que la ausencia de molestias para sus poblaciones incremente su número y lleguen a ocupar las casetas rehabilitadas. Por ello, esta actuación compagina ambos objetivos, consolidando las edificaciones y adaptándolas como zonas de refugio de murciélagos, por otra parte, garantes de un mejor estado sanitario del arbolado presente (Figura 12).

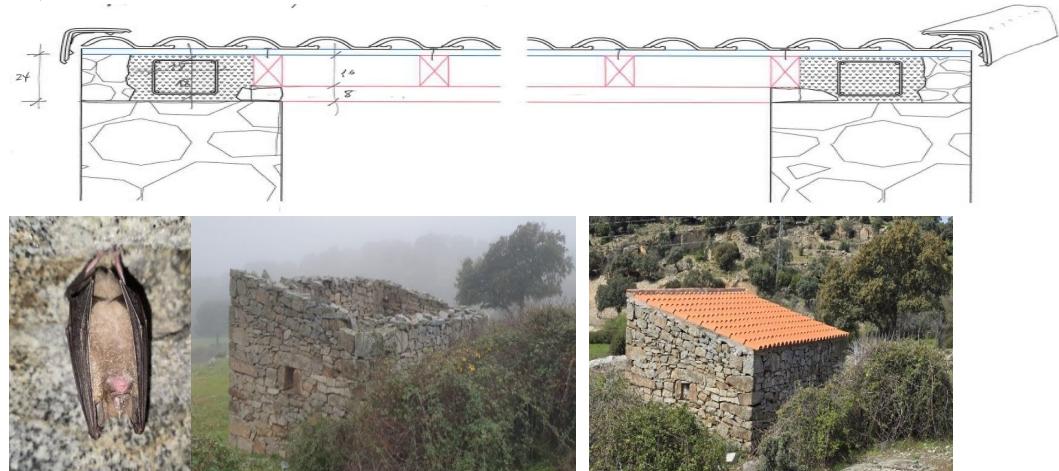


Figura 12. Arriba, izqda.: detalle del diseño para la recuperación de la cubierta de una choza. Arriba, dcha.: murciélagos grande de hendidura (*Rhinolophus ferrumequinum*) en el interior de una cueva en una cantera cercana. Abajo, aspecto de la edificación antes y después de su rehabilitación. En algunas canteras excavadas bajo el nivel del terreno, bien el afloramiento del agua del freático, bien la acumulación del agua procedente de las precipitaciones, dan lugar a encharcamientos que,

dependiendo de las zonas, puede ser temporal o permanente. En ambos casos se convierten en refugio de numerosas especies de anfibios, entre ellos, como más destacados, los tritones ibérico y pigmeo y la ranita de san Antonio. Aparte de estas especies singulares de anfibios, en las canteras con encharcamiento también viven algunas especies exóticas invasoras introducidas en la zona, como la perca sol (*Lepomis gibbosus*), la perca americana (*Micropterus salmoides*), la gambusia (*Gambusia affinis*) o el cangrejo de río americano (*Procambarus clarkii*). Un problema importante de estas especies es que son depredadoras de los anfibios, alimentándose sobre todo de huevos y larvas. Por tanto, poblaciones elevadas de esas especies invasoras afectan de forma directa a las de anfibios nativos. Para paliar este impacto, en el proyecto de restauración de las canteras se ha incluido una partida para reducir la presencia de dichos depredadores.



Figura 18.

Izquierda: colocación de redes desde embarcación. Derecha: butrones de doble entrada con cangrejo rojo americano

5. **Uso público** El uso público se ha considerado fundamental en este proyecto, ya que uno de los objetivos principales ha sido integrar estas áreas recuperadas en la vida de la comunidad y proporcionar nuevos espacios para el recreo y la educación ambiental. El principal propósito de las actuaciones de uso público ha sido dar a conocer a los visitantes la explotación histórica que ha tenido este territorio, sus consecuencias ambientales y las actuaciones de recuperación realizadas. Para ello se ha diseñado y construido una senda interpretativa, denominada “El legado cantero de Alpedrete”, en la que, a lo largo de su recorrido, el visitante puede aprender sobre el origen geológico del paisaje granítico, la significativa contribución del granito de Alpedrete a la arquitectura madrileña (con ejemplos destacados como el Palacio Real, la Puerta de Alcalá o el Banco de España), los nuevos hábitats originados por la actividad extractiva y las acciones de restauración ambiental realizadas, así como los beneficios generados.



Figura 19. Parada 2 de la senda con panel informativo y elementos parcialmente canterados recuperados durante la ejecución de las obras

6. **Discusión** Cualquier excavación en el terreno, y la cantería de granitos es solo un ejemplo más de ese tipo de actividades humanas, implica una transformación profunda de los ecosistemas y de los paisajes, en tanto afecta no solo a la cubierta vegetal o al suelo sino también a los materiales

bajo los mismos, lo cual tiene implicaciones más profundas al realizar cambios en el volumen y en las propiedades de los terrenos que crean nuevos relieves y cambian las dinámicas hidrológicas superficial y subterránea. Así, donde antes de la cantería teníamos una “ladera”, después de la extracción de rocas, tenemos huecos y cortados rocosos, encharcamientos de agua y acumulaciones de escombros, que muchas veces incluyen tierras reutilizables. La restauración geomorfológica, por tanto, debe tener en cuenta todos estos aspectos, si bien no se pretende recuperar la topografía original, dado que es imposible, tanto desde un punto de vista topográfico como de las propiedades de los sustratos. Sin embargo, se pueden organizar todos estos elementos, sobre la base de un conocimiento de las geoformas locales. Por tanto, una restauración ambiental basada en una restauración ecológica y paisajística de base geomorfológica, como la aquí descrita, configura nuevos paisajes, pero con una configuración y dinámica similar a los paisajes naturales.

7. **Conclusiones** El fin último de la restauración de muchos espacios degradados suele ser la recuperación de la cubierta vegetal. Sin embargo, cuando el medio físico ha sido transformado intensamente, como ocurre con las actividades que mueven tierras (como la minería), parece lógico que el primer paso para la recuperación ambiental sea la restitución del medio físico. Las prácticas habituales de recuperación topográfica en espacios degradados por la minería o por obras civiles suelen optar por líneas rectas y planos inclinados, en lugar de por una restauración de las formas geológicas más próximas a los paisajes naturales, con una sucesión de elementos y formas de configuración compleja e irregular. La restauración de las canteras de Alpedrete, con base geomorfológica, representa una aproximación pionera a nivel mundial para canteras de granito. Con este enfoque, no solo se restituyen elementos del relieve natural, sino, sobre todo, procesos hidrológicos y ecológicos, organizados en torno a pequeñas cuencas hidrográficas. La restauración de hábitats en las antiguas canteras de granito de Alpedrete, partiendo de la reconstrucción de geoformas que son similares a las de los paisajes del entorno inmediato, es la primera que tiene este enfoque, para huecos mineros graníticos, de toda Europa. Así, se presenta una gran oportunidad para estudiar la evolución ecológica y geomorfológica de los ecosistemas restaurados desde diferentes puntos de vista: paisajístico, geológico, faunístico, cinegético y ganadero, entre otros.
8. **Agradecimientos** Patricia Riquelme Osado y Belén Vacas Vega, por su empuje inicial y su apoyo en el transcurso del proyecto. El equipo de TRAGSA, desde maquinistas (Juan Pablo Ruiz Gárgoles, Antonio Vera Corcobado) —capaces de manejar la maquinaria pesada con precisión casi quirúrgica— y encargados (Benigno Díaz Pascual) al jefe de obra, Luis Carlos Arias Rodríguez, y la eficaz labor de coordinación de Alfredo Fernández Esteban. María Tejedor Palomino, de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), ha colaborado en la realización de diseños de restauración geomorfológica. Ignacio Zapico, también de la UCM, ha sido el encargado de elaborar los planos. El ayuntamiento de Alpedrete: alcalde, Juan Rodríguez Fernández-Alfaro; concejala de Urbanismo y Medio Ambiente, M.ª del Carmen Fernández Cueto; técnico de medioambiente, Eduardo Chicharro Fernández, y archivera municipal, Encarnación Martín García. Los miembros de la empresa ORTHEM, S. L. para el contrato de



servicio de mejora de los montes, atentos al más mínimo detalle. Óscar de Paz García-Guerrero, de la Asociación Española para la Conservación y Estudio de los Murciélagos (SECEMU), ha colaborado estableciendo las condiciones tanto de las puertas y ventanas de las casetas rehabilitadas para la colonización de murciélagos como del diseño del cierre de las mismas. Miguel García Ovejero, que tendió los puentes iniciales entre la Consejería y la UCM. Y agradecer la paciencia de los adjudicatarios de los aprovechamientos de los montes, ganaderos y cazadores, al sufrir las molestias aparejadas a las obras.

9. **Bibliografía** GARCÍA LÓPEZ JM, ALLUÉ CAMACHO C. 2016. Flora Silvestre del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid GRIJALBO CERVANTES, J. 2016. Flora de Madrid. Autor, Madrid Grupo de Flora de Madrid Urbano Bot Mad. 2023. Madrid flora urbana. Editorial Doce Calles, Madrid MARTÍN DUQUE JF, CEBALLOS R, TEJEDOR M. 2019. Nuevas soluciones para la integración ecológica y paisajística de distintos tipos de vertederos de estériles. *Montes* 136: 22-25 MARTÍN DUQUE JF, TEJEDOR M, MARTÍN MORENO C et al. 2020. Paisajes 'naturales' que emergen a medida que la explotación minera avanza. Restauración minera progresiva incorporando principios geomorfológicos. *Cemento Hormigón* 977: 56-65 MARTÍN DUQUE JF. 2024. Restauración geomorfológica. En: Mola I (Ed.) *Restauración ecológica: bases técnicas para soluciones prácticas*, pp 160-170. Fundación Biodiversidad, Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, Madrid PEDRAZA J, SANZ MA, MARTÍN A. 1989. *Formas graníticas de La Pedriza*. Agencia de Medio Ambiente, Comunidad de Madrid, Madrid 2G Génie Géologique. *Talus ROYAL® en toda Francia y Europa*. <https://www.2g.fr/talus-royal>