

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

Ángel Romero de Lara¹,
José Francisco Martín Duque²,
Francisco Javier Cantero Desmartines¹,
Álvaro Enríquez de Salamanca³,
Jaime Fesser Velasco⁴,
Hugo Alberto Torres Pérez⁴

¹Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior,
Comunidad de Madrid

²Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad
Complutense de Madrid (UCM)

³Draba Ingeniería y Consultoría Medioambiental, S. L.

⁴Tragsa, Empresa de Transformación Agraria,
S. A., S. M. E., M. P.

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, consistente en imitar los paisajes graníticos que caracterizan este entorno. Para ello se realizó un diseño geomorfológico particularizado para un conjunto de 22 canteras y más de nueve hectáreas de superficie, utilizando las técnicas más avanzadas a nivel mundial. También se efectuó una recuperación edáfica, aprovechando los acopios de los suelos naturales que habían sido retirados en su día, con el fin de lograr una colonización natural de los terrenos, y se han realizado siembras de especies pascícolas en algunas canteras rehabilitadas y plantaciones de árboles y arbustos con fines diversos. Se han adecuado algunas 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. Así mismo se construyeron majanos de roca para conejos y se realizaron campañas de extracción de fauna invasora del interior de las canteras. Finalmente, se apostó por la divulgación de los valores etnográficos, patrimoniales y naturales de estas canteras, diseñando y construyendo al efecto una senda temática. La restauración de hábitats en las antiguas canteras de Alpedrete, partiendo de una reconstrucción geomorfológica, es la primera de toda Europa que tiene este enfoque para canteras de granito. Sus resultados pueden servir como objeto de réplica en contextos similares.

Palabras clave: restauración geomorfológica, restauración ecológica, restauración ambiental, rehabilitación, paisajes graníticos, geoforma, hábitats.

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 del paisaje por diversas circunstancias. Los años de penuria económica, no tan lejanos, en los que los montes se vieron salpicados de cultivos destinados a alimentar a los pueblos cercanos; el sobrepastoreo, con sus nefastas consecuencias de deforestación y erosión, y ahora, cuando la vegetación se ha ido recuperando merced a las sucesivas repoblaciones forestales, los incendios obligan a reponer las hectáreas carbonizadas.

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 permitido 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, dibujar el paisaje con pincel, abandonando la, en su momento, necesaria brocha. Y también rehabilitar otros tipos de heridas en la naturaleza.

En este sentido, nuestros montes han retrocedido secularmente, sobre todo ante el empuje de la agricultura y la ganadería; pero ha habido otro tipo de perturbaciones, como la que aquí nos ocupa: las 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 este artículo, donde la restauración ambiental no pasa simplemente por restablecer la cubierta vegetal, sino que se busca generar una nueva coherencia del paisaje diseñada con ayuda de tecnologías punteras, en la que se integre la ejecución de carac-

terísticas geomorfológicas naturales que evoquen las condiciones del terreno antes de la intervención minera, la creación de un elevado número de hábitats como garantes de biodiversidad y la conservación de elementos etnográficos como testimonio de la antigua actividad cantera arraigada en la cultura local.

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

2. UNA GRAN OPORTUNIDAD: EL MECANISMO PARA LA RECUPERACIÓN Y LA RESILIENCIA (MRR)

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. Para ello, cada Estado miembro debe diseñar un plan nacional que incluya las reformas y los proyectos de inversión para alcanzar esos objetivos, siendo para el caso de España, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR).

El Plan incluye dentro de su política n.º 2 “Infraestructuras y ecosistemas resilientes” el componente n.º 4 “Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad”, que cuenta con una cuantía de 1642 millones de euros, y que aborda la vulnerabilidad de España a los efectos adversos directos e indirectos del cambio climático debido a su situación biogeográfica y geomorfológica, mediante la mejora del estado de conservación de los ecosistemas y su restablecimiento ecológico cuando sea necesario, y la inversión de la pérdida de biodiversidad, garantizando el uso sostenible de los recursos naturales y preservando y mejorando sus servicios ecosistémicos.

El componente se estructura en tres reformas y cuatro inversiones. La

inversión tercera “C4.I3. Restauración de ecosistemas e infraestructura verde” incluye un conjunto de actuaciones cuyo objetivo es, entre otros, restaurar los ecosistemas naturales y las zonas degradadas por actividades mineras. Esta fija un objetivo de restauración de *al menos 30 000 hectáreas de ecosistemas naturales*.

Para el caso concreto de la minería, la inversión 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. Su ejecución debe concluir 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”.

3. UNA SOLUCIÓN PLANIFICADA

Ya en junio de 2022, una vez identificada la oportunidad de ejecutar esta restauración, la Comunidad de Madrid abordó 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, con unas dimensiones que varían desde unos pocos metros cuadrados de superficie y frentes menores de un metro hasta tres hectáreas y frentes de más de diez metros de altura. Todas estas zonas suman cerca de 35 ha, lo que supone un 9 % de la superficie total de esos dos montes.

Partiendo de ese inventario, se definió la prioridad de actuación, según criterios técnicos y científicos, como su grado de naturalización, su valor ecológico, su impacto visual o su potencial uso público.

tauración. Su principal característica ha sido su enfoque holístico, con una base ecológica. Son pocos los proyectos de restauración ambiental que abordan de una manera integral la recuperación del relieve, la red hidrológica, el sustrato, el suelo, la vegetación, la fauna y el uso público.

4.1. 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 jóvenes y 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. Con esta información se hizo una jerarquización de las canteras en cinco categorías, según la prioridad de actuación.

El número de canteras existentes es enorme, 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.

4.2. Restauración geomorfológica

La restauración geomorfológica es el proceso de diseñar y reconstruir geoformas, sustratos y paisajes que repliquen la morfología y 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, que no se podría reponer, 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 era caótica y artificial, totalmente alejada de las configuraciones de los paisajes circundantes, con un impacto ambiental muy significativo. Y aunque algunas de estas escombreras pudieran tener algún 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 debían 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).

4.2.1. 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), consistente 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 proyectan configuraciones de paisajes que copian o imitan a los análogos naturales.

4.2.2. Método para replicar pequeños cortados rocosos

Para los antiguos frentes de explotación nos inspiramos en el método *Talud Royal*, que consiste en replicar pequeños cortados rocosos, similares a los naturales, en taludes artificiales de excavación. Como resultado, se obtienen escarpes de extraordinaria 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

Tabla 1. Creación de hábitats y micropaisajes en la restauración de las canteras

CONFIGURACIÓN DE LAS ANTIGUAS CANTERAS	GEOFORMAS TRAS LA RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA		HÁBITATS Y PAISAJES TRAS LA RESTAURACIÓN
Huecos	1	Cortados rocosos	Zonas rupícolas (1) - cortados
	2	Lanchares	Zonas rupícolas (2) - losares
	3	Zonas encharcadas	Humedales estacionales o permanentes
Escombreras	4	Canchales	Pedreras, gleras, pedregales, majanos
	5	Pequeñas lomas	Pastizales sobre lomas
	6	Pequeñas vaguadas	Vegetación freatófita sobre vaguadas
	7	Cauces y pequeños valles	Vegetación ripícola
	8	Bolos graníticos, piedras berroqueñas	Berrocales

caso de Alpedrete, como se partía de unos frentes de explotación abandonados, 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 dejar 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 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 fue-

ron respetuosas, eliminando riesgos y naturalizando los antiguos frentes de explotación, pero manteniéndolos.

4.2.3. Ejecución de la restauración geomorfológica

Antes del inicio de las obras, se realizó una formación específica a los trabajadores y maquinistas sobre 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).

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

La figura 5 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.



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

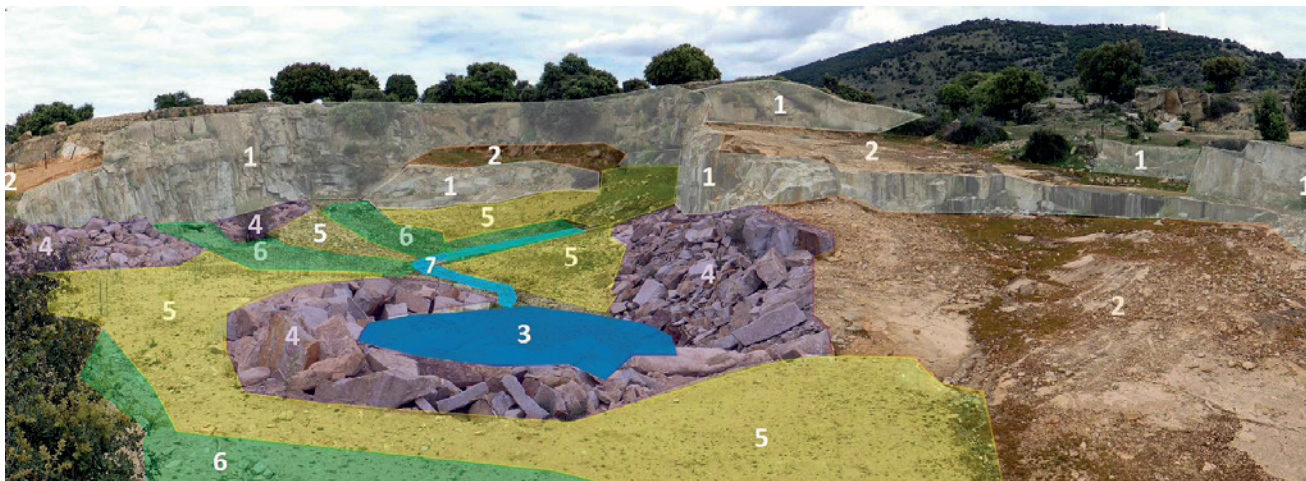
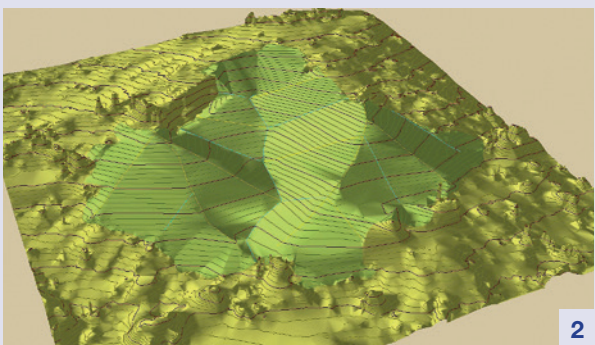


Fig. 4. Representación de geoformas reconstruidas en la restauración de la cantera 26.71. 1 – cortados rocosos; 2 – lanchares; 3 – zonas encharcadas; 4 – canchales; 5 – pequeñas lomas; 6 – pequeñas vaguadas; 7 – cauces. El elemento 8, bolos graníticos, queda fuera de la imagen (véase tabla 1 para terminología)



1



2

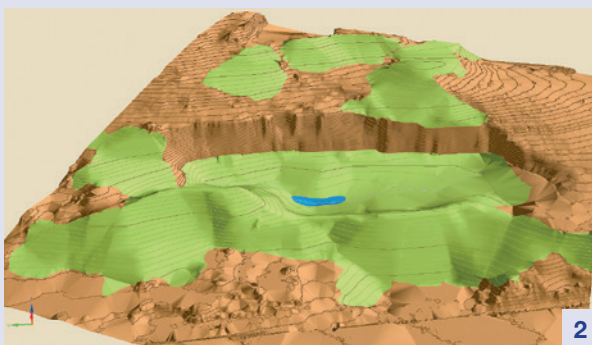


3

Fig. 5. (1): cantera antes de su restauración.
(2): diseño por ordenador (CAD) del paisaje de restauración.
(3): resultado tras la restauración (en marrón, una red orgánica)



1



2



3

Fig. 6. (1): cantera antes de su restauración.
(2): diseño por ordenador (CAD) del paisaje de restauración.
(3): resultado tras el remodelado geomorfológico



Fig. 7. Arriba: cantera con anterioridad a la restauración.
Abajo: aspecto tras el remodelado topográfico,
extendido de suelos y revegetación



Fig. 8. Arriba: escombrera con anterioridad a la restauración.
Abajo: aspecto tras el remodelado topográfico, extendido de suelos y revegetación.
Este espacio representa un caso de restauración únicamente de escombreras,
y en posiciones exteriores a los huecos

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 solar y humedad.

4.3. 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 ac-

tualidad 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,



Fig. 9. 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



Fig. 10. Acopios de tierra recuperada procedente de desechos de la explotación de canteras

mezclados con arenas (productos de la meteorización del granito), dando lugar a escombreras. Esa mezcla de arenas y antiguos suelos constituye 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 aprove-

cha el banco de semillas y propágulos vegetales de especies nativas existente en estos suelos.

4.4. 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, y 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 por la falta de suelo. La remodelación geomorfológica ha permitido suavizar las formas y aportar suelos disgregados sobre las superficies ocupadas anteriormente por losas de piedra o escombreras, lo que favorecerá el desarrollo de la vegetación. 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. En otras zonas con un riesgo más moderado 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.

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



Fig. 11. Izquierda: red de fibra de coco instalada en cantera restaurada. Derecha: siembra manual tras el remodelado geomorfológico



Fig. 12. Detalle de regenerado natural en cantera restaurada

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. En años venideros es de esperar que estas especies se reordenen, se ciñan a sus hábitats y con el paso del tiempo abran paso a otras más exigentes.

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 tiempo (aproximadamente dos meses) se han identificado más de 90 especies diferentes (entre ellas tres exóticas) que unidas a las que no han sido vistas por el momento, superarán con creces la centena. 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.

Adicionalmente, se han realizado algunas otras actuaciones de implantación vegetal más localizadas. En zonas favorables se ha realizado un estaquillado de salgueras (*Salix salviifolia* 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 esquejes de zarzamora (*Rubus ulmifolius*) obtenidos 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 cante-



Fig. 13. Arriba, izqda.: plantación de matas de *Rubus ulmifolius* extraídas del lugar entre la red de fibra de coco instalada en cantera restaurada. Arriba, dcha.: instalación de jaulones protectores en las plantaciones realizadas. Abajo: visual aérea de algunas plantaciones realizadas



Fig. 14. Arriba: construcción de vivar para conejos. Abajo: canchales aptos para refugio de la fauna cinegética

ras con mayor presencia de anfibios se han plantado especies espinosas como rosal silvestre (*Rosa canina*), majuelo (*Crataegus monogyna*) y endrino (*Prunus spinosa*).

4.5. 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 micro-paisajes 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 asociadas a la explotación de las canteras. Estas chozas suponen un elemento patrimonial singular, que merece ser protegido y recuperado. Pero, además, son zo-

nas potencialmente idóneas para el refugio de diversas especies de murciélagos presentes en la comarca. Por ello, en el proyecto se incluyó una actuación que compagina ambos objetivos, consolidando las edificaciones y adaptándolas como zonas de refugio de murciélagos.

Estas chozas suponen un elemento patrimonial singular, que merece ser protegido y recuperado. Pero, además, son zonas potencialmente idóneas para el refugio de diversas especies de murciélagos presentes en la comarca

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 depreda-

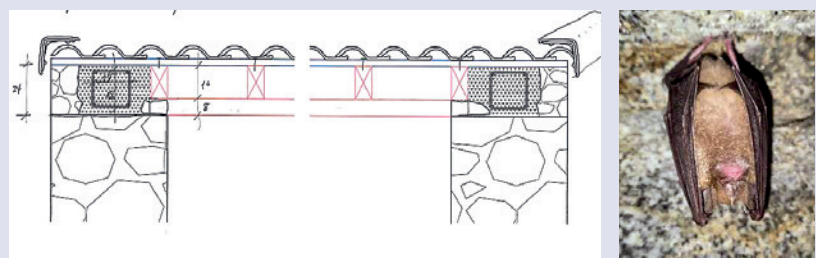


Fig. 15. Arriba, izqda.: detalle del diseño para la recuperación de la cubierta de una choza. Arriba, dcha.: murciélago grande de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*) en el interior de una cueva en una cantera cercana. Abajo, aspecto de la edificación antes y después de su rehabilitación"



Fig. 16. Arriba, izqda.: amplexo de sapo corredor (*Epidalea calamita*). Arriba, drcha.: ranita de san Antonio (*Hyla arborea*). Abajo, izda.: ejemplar de tritón ibérico (*Lissotriton boscai*). Abajo, dcha.: ejemplar de tritón pigmeo (*Triturus pygmaeus*)

doras de los anfibios, alimentándose sobre todo de huevos y larvas. Por tanto, poblaciones elevadas de esas especies invasoras afectan de forma directa a la presencia de anfibios na-

tivos. Para paliar este impacto, en el proyecto de restauración de las canteras se ha incluido una partida para reducir las poblaciones de dichos depredadores.

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.



Fig. 17. Arriba, izqda.: ejecución de batimetría con ecosonda. Arriba, dcha.: colocación de redes desde embarcación. Abajo, izda.: pesca eléctrica vadeando. Abajo, dcha.: butrones de doble entrada con cangrejo rojo americano



Fig. 18. Arriba, izqda.: panel informativo de inicio de senda. Arriba, dcha.: flechas direccionales de senda. Abajo: parada 2 de la senda con panel informativo y elementos parcialmente canterados recuperados durante la ejecución de las obras

EPÍLOGO

El fin último de la restauración de muchos espacios degradados, en el medio natural y rural, 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. 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 anti-

guas canteras de granito de Alpedrete, partiendo de la reconstrucción de geomorfos 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.

6. 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.

Y agradecer la paciencia de los adjudicatarios de los aprovechamientos de los montes, ganaderos y cazadores, al sufrir las molestias aparejadas a las obras.

REFERENCIAS

- 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 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>