

## LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN MINERÍA: EL PROYECTO EcoQUARRY

**MONTSE JORBA PEIRÓ**

*COORDINADORA TÉCNICA DEL PROYECTO ECOQUARRY, FACULTAD DE  
BIOLOGÍA (UNIVERSIDAD DE BARCELONA)*

**RAMON VALLEJO CALZADA**

*DIRECTOR DEL PROYECTO ECOQUARRY, FACULTAD DE BIOLOGÍA  
(UNIVERSIDAD DE BARCELONA)*

Los conocimientos sobre el funcionamiento de especies y ecosistemas ha aumentado enormemente en las últimas décadas y esta información debería utilizarse en la mejora de las actuaciones de restauración ecológica de las explotaciones a cielo abierto. El objetivo final del proyecto EcoQuarry, patrocinado por el programa europeo LIFE-Medio Ambiente, es aplicar conocimientos ecológicos actuales en experiencias de restauración reales que sirvan de base a la preparación de una guía de buenas prácticas de restauración ecológica para el sector extractivo. Las experiencias piloto se desarrollan en Cataluña, Comunidad Valenciana y Setúbal (Portugal), en 11 explotaciones de las empresas participantes. En estas experiencias se llevan a cabo diferentes ensayos con especies vegetales, sustratos y dosis de riego. El desarrollo del proyecto está concebido como un sistema de control de calidad de todo el proceso de restauración donde se controlan los materiales utilizados (proveedores), la ejecución de los tratamientos (proceso) y la evolución de la restauración (producto).

### **La restauración ecológica**

Las explotaciones mineras a cielo abierto se desarrollan, con frecuencia, en espacios forestales de elevado valor paisajístico y ecológico, alterándolos severamente.

Según establece la legislación vigente, una vez la actividad minera ha concluido, la finalidad de la restauración ecológica es obtener, en la medida de lo posible, los sistemas naturales originales. Esta no es una

tarea fácil, ya que, en este tipo de actividades la afectación de los ecosistemas es total. En esta situación, sería mejor utilizar el término "creación de nuevos sistemas" en lugar de "restauración ecológica", que debería aplicarse únicamente a situaciones con alteraciones menores. Sin embargo, el término "restauración ecológica" está muy arraigado en el sector extractivo y puede seguir siendo el lema que englobe todas las intervenciones de recuperación durante años. De todos modos, es necesario recapacitar sobre las limitaciones y las posibilidades de lo que a partir de ahora consideraremos "restauración ecológica en la minería a cielo abierto".

Los sistemas naturales que forman nuestro paisaje son el resultado de un equilibrio entre los factores ambientales (clima y suelo) y los organismos vivos que los habitan (fauna y vegetación) y cambian y evolucionan conjuntamente a lo largo del tiempo.

Intentar recuperar todas las interacciones entre ambiente y organismos con unas pocas intervenciones de revegetación y en pocos años es, sin duda, imposible.

### Poca información y mucha presión

La restauración ecológica es una disciplina joven y no existen bases de datos normalizados donde obtener información fiable de la evolución de las zonas tratadas a lo largo del tiempo. Las intervenciones más antiguas tienen como mucho dos décadas y suelen estar pobremente documentadas. La poca información disponible sobre la validez de algunas actuaciones de revegetación impide también mejorar los criterios en restauración. Sin embargo, en el sector extractivo la presión social es importante y, en muchas ocasiones, es el factor condicionante en la planificación de las intervenciones de revegetación. Frecuentemente la exigencia en los resultados de la restauración se limita a aspectos paisajísticos sencillos que se centran en minimizar rápidamente el impacto visual generado por las paredes rocosas desnudas. Estos objetivos simplistas conducen, a veces, a la realización de actuaciones poco recomendables (Figura 1).

La demanda de rapidez supera a la demanda de calidad y la colocación de tierras y las siembras con mezclas herbáceas de rápido crecimiento siguen siendo las actuaciones más

**Figura 1.- Actuación de integración paisajística mediante pintado de los frentes de una cantera de Tarragona (Cataluña).**



## canteras

Figura 2.- Vista de las zonas restauradas (izquierda de las fotos) en “la Martinenca” en marzo del 2006 (fotografía de la izquierda) y en junio del 2006 (fotografía de la derecha).



extendidas. Actualmente, esto debería ser sólo una fase preliminar dentro de la recuperación de estos espacios alterados y se imponen nuevos planteamientos que incluyan intervenciones con proyecciones a medio y largo plazo.

### La calidad en la restauración

Si bien la implantación de una fase herbácea inicial para la sujeción de las tierras en los taludes con fuerte pendiente es necesaria, los planteamientos de la revegetación deben ser más amplios. El desarrollo de una cubierta herbácea puede conseguirse de una forma relativamente rápida pero está sujeta a cambios estacionales, especialmente en la zona Mediterránea. Con el estiaje, la vegetación herbácea se adapta a las condiciones de menor humedad reduciendo su biomasa verde. El contraste entre primavera y verano es muy evidente en estas zonas y a simple vista se pueden diferenciar las superficies recientemente revegetadas, con predominio de herbáceas, de las áreas naturales no afectadas (Figura 2).

En las teorías clásicas de sucesión se acepta que las especies forestales complementan y sustituyen a la fase herbácea y el sistema evoluciona por sí mismo hacia los ecosistemas forestales deseados. Un buen indicador de que estos cambios están sucediendo es la estabilidad cromática a lo largo del año, propia de bosques y matorrales perennifolios con una baja presencia de especies herbáceas.

De todos modos, el funcionamiento de las áreas de nueva creación puede diferir sustancialmente de los esquemas de sucesión vegetal tradicionalmente aceptados. Existen factores ambientales distintos entre las áreas alteradas y los sistemas originales que pueden determinar evoluciones en el tiempo muy diferentes. Por un lado, las morfologías finales suelen ser muy distintas a las originales y vienen condicionadas por la forma de aprovechamiento del recurso mineral y las limitaciones establecidas en la legislación (altura máxima de los bancos). La morfología queda estructurada como una secuencia de bancos de elevada pendiente que salvan el desnivel generado por la extracción del recurso mineral, frecuentemente con sistemas de recogida y gestión de las aguas pluviales deficientes (Figura 3). Esto puede limitar el éxito de algunas actuaciones de revegetación.

La aportación de tierras suele representar otro factor diferencial respecto a los sistemas originales. En muchos casos, el suelo forestal es escaso y se distribuye irregularmente en el espacio. En cambio, durante la restauración se suelen aportar sustratos en cantidades y calidades muy superiores a las del suelo extraído que determinan floras y faunas distintas.

A todo esto se añade la propia estrategia de dispersión de cada especie forestal. Algunas semillas se dispersan en zonas inmediatas a la planta madre mientras que otras necesitan animales (roedores o pájaros) para poder colonizar nuevas áreas.

Figura 3.- Morfologías finales de los taludes de restauración.



De todos modos, que una semilla llegue por medios naturales a un determinado espacio no garantiza su germinación ni el establecimiento de la planta, que depende de las condiciones ambientales del momento (humedad del suelo, temperatura, luz). Frecuentemente, el enraizamiento de las plántulas es inviable debido a la presencia de un estrato herbáceo denso, forzado mediante la adición de enmiendas orgánicas y las siembras.

Así, suponer que las áreas tratadas llegarán a tener por sí mismas las composiciones y estructuras florísticas y faunísticas de su entorno natural puede ser utópico.

Sin embargo, el conocimiento del funcionamiento de ecosistemas y especies puede ayudar a mejorar la estructuración de estas áreas de nueva creación desde un punto de vista más ecológico, potenciando el desarrollo de los paisajes y sistemas forestales del entorno a corto o medio plazo. Intervenciones concebidas dentro del contexto global de la explotación donde se consideren aspectos morfológicos locales, microclimáticos y de dispersión de vegetación y fauna, muy descuidados hasta el momento, serían deseables y actualmente posibles.

Si bien, el nivel de conocimientos científicos ha mejorado en las últimas décadas, el sector de la restauración avanza según los ritmos de la oferta y la demanda. Las empresas involucradas en las tareas de revegetación siguen mayoritariamente planteamientos derivados de la jardinería, aplicando escasos criterios con base ecológica no exigidos en sus con-

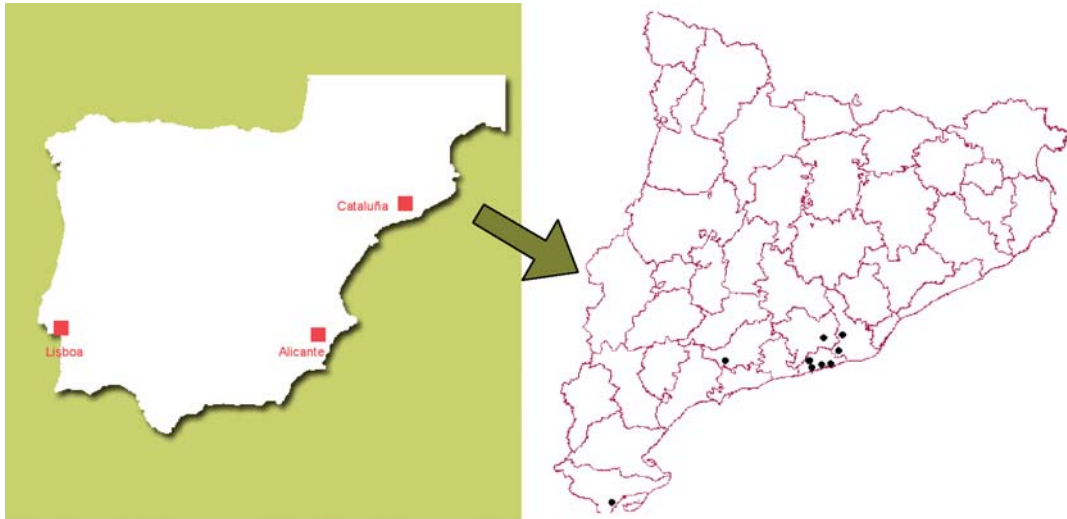
tratos. La demanda de planteamientos de mejora tampoco está surgiendo del sector minero con otras prioridades tecnológicas. Todo esto repercute en los mismos proveedores que disponen de poca gama de productos, poco presionados por la escasa demanda, y limitan a su vez las posibilidades de actuación a los profesionales más innovadores. Nos hallamos ante un periodo de inmovilismo tecnológico. Desde el proyecto EcoQuarry se intenta mejorar esta situación.

### El proyecto EcoQuarry

El proyecto EcoQuarry está patrocinado por el programa LIFE-Medio Ambiente y tiene una duración de 3 años (2004-2007). El coste total del proyecto es de 960417 €. La comisión Europea subvenciona el 50% del coste total mientras que el resto se patrocina mediante aportaciones de los participantes (35% del sector extractivo, 13% de los centros de investigación y 2% de la administración).

Está coordinado por el Departamento de Biología Vegetal de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona y participan 5 centros de investigación (Universitat Politècnica de Barcelona, Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, Centre de Recerca i Estudis d'Aplicació Forestal, Universitat d'Alacant y Universidad de Lisboa), 9 empresas del sector extractivo (Bercontres SA, Cementos Molins Industrial SA, Lafarge Asland SA, Promotora del Mediterráneo SA, Uniland Cementera SA, Canteras Roca

Figura 4.- Localización de las experiencias piloto.



SA, Canteras Ponderosa SA, Cemex España SA, Aricemex SA y SECIL Companhia Geral de Cal e Cimento SA), 2 asociaciones del sector (Gremi d'Àrids de Catalunya y Ciment Català) y una administración autonómica (Secció d'Activitats Extractives del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya).

El proyecto está orientado a la restauración ecológica de canteras de roca caliza aunque los resultados podrán aplicarse a otros sectores de la restauración. Se pretenden contrastar a escala real algunos resultados obtenidos en programas de investigación mediante la realización de experiencias piloto. Estas experiencias se desarrollan en Cataluña, Alicante y Portugal en once canteras pertenecientes a las distintas empresas participantes (Figura 4). En España las experiencias se distribuyen en distintos climas (3 en clima subhúmedo, 4 en clima seco y 3 en clima árido). Las experiencias de Portugal se desarrollan en clima termo mediterráneo.

### Control de calidad

En proyectos anteriores que tenían como objetivo evaluar el estado de la restauración en función de las actuaciones realizadas y del tiempo transcurrido, se puso de manifiesto la falta de normalización en los registros de las distintas intervenciones efectuadas. En muchas empresas la única información disponible son las facturas de las hidrosiembras efectuadas que en algunos casos no incorporan la composición aplicada. Esto dificulta la interpretación de los resultados y mucha de la información no se puede utilizar.

Este hecho nos condujo a plantear el proyecto EcoQuarry como un control de calidad del proceso de la restauración. Asimilar los conceptos de restauración a protocolos de calidad, más conocidos en el mundo empresarial, puede fomentar que los responsables del sector extractivo puedan recopilar su propia información, evaluar a sus proveedores y el grado de consecución de sus resultados. Se pretende fomentar, además, la creación de una base de datos normalizada sobre tratamientos de revegetación. Esta documentación podría emplearse en proyectos de investigación futuros para evaluar la evolución de estas zonas a largo plazo y así poder efectuar un proceso de mejora continuado en restauración con los resultados que se obtengan.

En el proyecto se controlan y analizan todos los materiales utilizados (sustratos, semillas, aguas de riego, plantones), se controla la ejecución y se monitorizan distintos parámetros indicadores del proceso de revegetación (evolución de la vegetación, comportamiento hídrico de los sustratos, erosión).

### Poca diversidad

En estudios anteriores se observó que las actuaciones de revegetación se limitaban a la aplicación de hidrosiembras donde se utilizaban las mezclas comerciales del mercado, sin evaluar posteriormente su efectividad. Las plantaciones se reducían a la introducción de pino, romero y algún lentisco o palmito. Las estructuras vegetales resultantes de estas intervenciones son muy poco diversas con una clara dominancia del

estrato herbáceo frente a los arbustos. Se observó además que algunas de estas estructuras herbáceas perduran en el tiempo y no parecen evolucionar hacia formaciones forestales.

En el presente proyecto se pretende obtener una mayor riqueza de las especies autóctonas características de los sistemas naturales del entorno, especialmente para las especies leñosas. La presencia de estas especies arbustivas y arbóreas determinará una mejor integración paisajística y ecológica de estas zonas en su entorno que deberían pasar de la fase pratense (con predominio de herbáceas banales) a composiciones forestales que promuevan vínculos con las especies animales del entorno no alterado.

La selección de especies para cada zona experimental se adapta a su flora (Tabla 1 y 2). La forma de introducción

de las especies arbustivas se realiza en función de la información disponible de sus requerimientos de germinación e instalación y algunas especies se incorporan a las siembras junto con las herbáceas mientras que otras forman parte de la plantación.

Respecto a la siembra de herbáceas, se pretende ensayar diferentes composiciones. El objetivo es conocer si estas distintas mezclas presentan desarrollos contrastados y saber como evolucionan en el tiempo y en sustratos diferentes. Algunas de estas mezclas contienen especies herbáceas propias de formaciones forestales en contraposición con otras mezclas estrictamente comerciales. También se pretende conocer si existe interacción entre alguna de estas mezclas herbáceas y los arbustos introducidos.

**Figura 5.- Zona sembrada con una antigüedad de 5 años (foto superior izquierda). Zona tratada con lodos de depuradora con una antigüedad de 3 años (foto superior derecha). Plantación de pino carrasco de 12 años de antigüedad (foto inferior izquierda). Zonas tratadas con lodos de depuradora entre 3-8 años de antigüedad (foto inferior derecha).**



# canteras

## Sustratos

Obtener tierra vegetal para la restauración no es siempre posible. Muchas explotaciones utilizan rechazos minerales corregidos como sustrato. En el proyecto EcoQuarry se han incorporado este tipo de sustratos en sus experiencias. Los rechazos minerales son pobres en nutrientes y la corrección orgánica se realiza mediante la aplicación de materiales compostados, potenciando así el uso de materiales orgánicos residuales. Se pretende conocer las ventajas y limitaciones para la revegetación de cada rechazo con o sin corrección orgánica.

## La gestión del agua. Los riegos de apoyo

La gestión del agua, elemento clave durante las primeras fases de instalación de la vegetación, debe tener como prioridad obtener el mejor rendimiento entre desarrollo de la vegetación y cantidad de riego aplicado en base a las condiciones climatológicas y ambientales locales y al sustrato empleado.

En las primeras fases de implantación, las plantas introducidas presentan desarrollos radiculares limitados y sólo pueden obtener el agua directamente en la zona de los alcorques donde se han plantado o germinado. El posterior desarrollo de las raíces permitirá ampliar la zona de suelo donde obtener agua y asegurar la supervivencia y crecimiento de la planta.

El periodo estival es la época más crítica para la supervivencia de la vegetación en sus primeras fases de instalación. Los riegos de apoyo deben aportar el agua suficiente para permitir la supervivencia de las plantas (Figura5). Los diferentes sustratos presentan comportamientos hídricos contrastados y la aplicación de los riegos (dosis y frecuencia) debe considerar este aspecto con el objetivo de gestionar los recursos hídricos de forma sostenible. Paralelamente, también se están llevando a cabo experiencias sin riego que permitirán establecer la evolución de la vegetación en condiciones límite.

## El rendimiento coste/beneficio de los tratamientos

El planteamiento de los tratamientos debe contemplar los costes tanto económicos como ambientales de su ejecución respecto a los resultados potenciales. Se pretende establecer esta valoración coste económico-beneficio ambiental de forma

Figura 5.- Riegos de apoyo en las zonas restauradas.



consensuada entre representantes de los distintos actores implicados en la restauración (científicos, técnicos, empresas y administración). Esto permitirá seleccionar las actuaciones más rentables con criterios de economía ecológica. Posiblemente la unificación de criterios respecto a lo que se considera el éxito de una restauración sea el punto más delicado de esta fase.

Otro aspecto importante del proyecto es la evaluación de la fijación de carbono atmosférico en el sistema creado. Tanto el desarrollo de la vegetación como el enriquecimiento en materia orgánica del sustrato a partir de los restos vegetales es una entrada de carbono atmosférico en el medio. Desde el protocolo de Kyoto, la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> es un objetivo prioritario para las empresas cementeras. La restauración ecológica que realizan, con la fijación de CO<sub>2</sub> que representa, puede mejorar el balance entre emisiones y sumideros de carbono atmosférico de esta actividad industrial.

## La Difusión

El proyecto contempla la realización de un conjunto de actividades de difusión de los resultados obtenidos dirigidas al sector extractivo. Esta divulgación se efectuará mediante artículos en revistas especializadas, jornadas técnicas y cursos de formación.

Además, con la información obtenida en éste y anteriores proyectos se editará un manual de buenas prácticas para la restauración ecológica en minería a cielo abierto para clima Mediterráneo.

Se pretende sugerir el mejor tratamiento en función del sustrato empleado, el clima y las infraestructuras disponibles para asegurar el éxito de la restauración a corto, medio y largo plazo.

Todas estas actividades se desarrollarán a lo largo del 2007, una vez se hayan tratado los resultados de las experiencias piloto.

Tabla 1.- Composición de especies herbáceas y arbustivas de las diferentes mezclas de siembra ensayadas en el proyecto.

Pais/Región	Especies herbáceas	Especies arbustivas
Cataluña	Brachypodium retusum Psoralea bituminosa Sanguisorba minor Dactylis glomerata Lotus corniculatus Psoralea bituminosa Sanguisorba minor Medicago sativa Lolium multiflorum Onobrychis sativa	Dorycnium pentaphyllum Helichrysum stoechas Santolina chamaecyparissus Bupleurum fruticosum Anthyllis cytisoides
Portugal	Dactylis glomerata Festuca arundinacea Lotus corniculatus Sanguisorba minor Trifolium repens Brachypodium phoenicoides Lolium perenne Psoralea bituminosa Coronilla valentina Thymbra capitata	Cistus albidus Helichrysum stoechas Dorycnium pentaphyllum Anthyllis vulneraria Ononis natrix
Alicante	Dactylis glomerata Lolium rigidum Trifolium alexandrinum Medicago lupulina Agropyrum cristatum Moricondia arvensis Coronilla juncea Stipa tenacissima Lygeum spartium Piptatherum miliaceum Brachypodium retusum	Cistus albidus

Tabla 2.- Especies empleadas en las plantaciones de las distintas regiones/países participantes.

Cataluña	Alicante	Portugal
Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis
Pistacia lentiscus	Pistacia lentiscus	Pistacia lentiscus
Quercus coccifera	Salsola genistoides	Quercus coccifera
Juniperus phoenicea	Anthyllis cytisoides	Juniperus phoenicea
Juniperus oxycedrus	Juniperus oxycedrus	Ceratonia siliqua
Rhamnus alaternus	Chamaerops humilis	Olea europaea
Rhamnus lyciodes	Rhamnus lycioides	Quercus faginea
Erica multiflora	Osyris quadripartita	Arbutus unedo
Rosmarinus officinalis	Ephedra fragilis	Rosmarinus officinalis
Dorycnium pentaphyllum	Hammada articulata	Myrtus communis
	Salsola oppositifolia	Phillyrea angustifolia
		Lonicera sp.