



Obtenir sòl per a poder restaurar els espais miners..., tot un repte

Montse Jorba

Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia,
Universitat de Barcelona

GETTING SOIL IN ORDER TO RESTORE MINING AREAS..., A CHALLENGE. – Mining severely impacts on the environment. Once the extraction of a given mineral resources has concluded, the affected area should be integrated into the local environment, if possible by creating specific habitats. To this end, one of the main challenges is to foster a soil that facilitates the revegetation process. The best option is to use the natural topsoil, that was removed before the mining began. However the process of collection, storage and replacement of this soil entails a net loss in its quality. External soil represents an alternative, should the local topsoil prove insufficient for restoring the degraded site. In this case, however, the seed bank and propagules they contain may limit establishment of the target plant species. The use of quarry spoils is also an option for the extractive sector, though they are often marred by high stoniness and low fertility. The latter can be corrected by adding organic amendments such as sewage sludge or compost. Such amendments have variable effects on the revegetation process, including low seedling survival when high doses are applied. These new soils can also differ from natural soils, thus favoring a different type of vegetation. Studies show that knowledge of the interactions between soil and vegetation is crucial to achieving the objectives of each restoration project.

Els efectes de la mineria

La mineria és tan antiga com l'home i està vinculada al seu desenvolupament. La vida quotidiana de la societat actual està farcida de materials que només es poden obtenir a partir dels recursos geològics. L'obtenció de roques i minerals, però, comporta necessàriament un impacte en el paisatge, en els ecosistemes ocupats i en el seu entorn proper, i possiblement amb repercussions en la resta del territori, menys conegudes (alteració en el règim hídric de torrents i rieres, en la producció i dispersió de llavors, en la tipologia de grups de fauna i en la dinàmica de les seves poblacions...).

L'eliminació de vegetació, de sòl i de fauna en les concessions mineres són efectes que s'avaluen en els estudis d'impacte ambiental, però les interaccions entre els diferents elements biòtics i abiòtics, creades al llarg dels anys, estan menys considerades, malgrat que proporcionen la sostenibilitat i resiliència als ecosistemes. Aquest conjunt d'interaccions són justament les que cal fomentar durant el procés de restauració.

L'aprofitament de recursos miners a Catalunya i la normativa vigent

Amb la frase "La zona afectada ha de quedar ben integrada en el conjunt natural que l'envolta" la Llei 12 de 24 de desembre, que estableix normes addicionals de protecció dels espais d'especial interès natural afectats per activitats extractives, ha regulat la restauració de les àrees mineres a Catalunya des de 1981.

La normativa exigeix que les activitats extractives han d'incloure dins el projecte d'explotació un programa de restauració. Segons la llei, "Aquest programa de restauració ha d'incloure una anàlisi de l'estat en què es troben el lloc de les eventuales activitats i el seu entorn, especialment pel que fa als recursos naturals, definir les mesures a prendre per a prevenir i compensar les conseqüències perjudicials sobre el medi ambient de les actuacions extractives projectades, i incloure el conjunt de mesures de restauració que executaran a la fi de les diverses fases de l'explotació, així com les que s'hauran de desenvolupar en acabar l'activitat extractiva".

A més, atesa la quantitat d'espais degradats abandonats per les empreses extractives abans

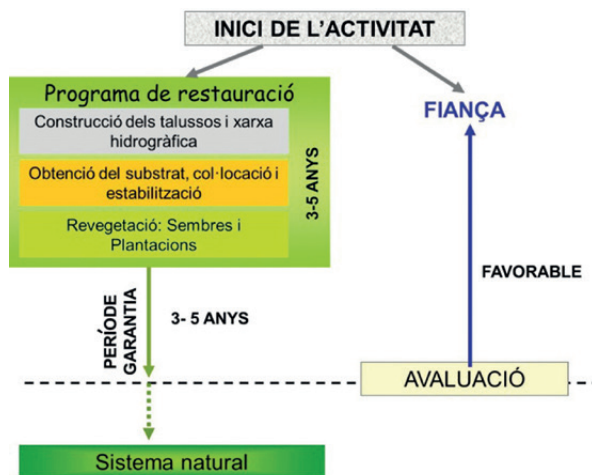


Figura 1. Procés administratiu d'una concessió minera segons la Llei 12/1981.

de la llei 12, la normativa considera que el “titular constitueixi una fiança abans de començar l’exploració, per a garantir l’aplicabilitat de les mesures de protecció del medi ambient i els treballs de restauració previstos”. Aquesta fiança es retorna si s’acompleixen els objectius del programa de restauració, després del període de garantia que s’estableix a la normativa (fig. 1).

Actualment, la superfície ocupada per activitats extractives està al voltant de les 15.000 ha amb unes 364 explotacions (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013), on dominen les de sorres i graves (28%), les de calcàries (27%), les d’argiles (11%) i les de granit (10%). En total, des de la implementació de la normativa s’han restaurat 4.520 ha, tot i que la major part s’han retornat a l’ús agrícola inicial. Quaranta-vuit expedients, però, s’han executat subsidiàriament per l’Administració i trenta-set resten encara pendents d’execució (Generalitat de Catalunya, 2015). Durant aquests anys s’ha impulsat “la restauració integrada” que promou les accions de restauració a les zones on ja s’ha acabat l’extracció del recurs i que coexisteixen amb els espais en explotació. Realitzar restauració integrada permet reduir les superfícies altament degradades i es poden desenvolupar els estadis preliminars de la recuperació. De tota manera, la restauració integrada se sol aplicar en pedreres grans que tenen concessions d’explotació durant llargs períodes de temps. En explotacions petites i de curta durada, com algunes graveres i sorreres, la restauració s’acostuma a fer un cop s’ha finalitzat l’activitat.

La restauració dels espais miners

A la Llei 12 es considera que aplicant el “principi de la restauració” es poden fer compatibles les explotacions dintre d’espais d’especial interès natural amb el manteniment de la qualitat d’aquests espais.

La forma en què cal fer aquesta restauració no queda definida en la normativa, però hi ha molts



Figura 2. Restauració agrícola d'una antiga explotació d'àrids, Berguedà (Foto: M. Jorba).

manuals on es donen directrius de com fer-ho (Bradshaw *et al.*, 1988; Generalitat de Catalunya, 1987; Harker *et al.*, 2000; IGME, 2004; Gobierno de la Rioja, 2006; López, 2006; Jiménez *et al.*, 2006; Jorba *et al.*, 2010; Neri *et al.*, 2012) i les empreses han anat realitzant actuacions amb resultats d’integració molt variables.

La creació de camps de conreu en graveres i sorreres representa el model de restauració més emprat en àmbits agrícoles, amb inversions reduïdes i amb bons resultats paisatgístics i ecosistèmics (fig. 2).

En extraccions d’entorns fluvials la restauració sol resoldre’s amb la formació de zones humides, que gairebé es revegeten espontàniament, fet que minimitza també el cost. Aquesta opció és també emprada en argileres que aprofiten la impermeabilitat dels materials per recollir les aigües d’escolament (fig. 3B). Aquestes solucions senzilles i econòmiques són molt freqüents i molt potenciades des del sector extractiu (UEPG, 2012).

Les explotacions de roques dures, de gran extensió i molt excavades, presenten les integracions més complicades, on els resultats solen ser reduïts i els impactes residuals més permanents (fig. 3A). Les actuacions que s’hi fan són també limitades i vénen governades pel model tradicional d’explotació talús-berma, que bàsicament intenten controlar els processos erosius dels talussos finals generalment amb pendents propers als 40°.

Esquemàticament, el procés habitual que s’implementa inclou primer la remodelació morfològica amb moviments de terres, rebliments i voladures per crear relleus estables i paral·lelament es construeix la xarxa de drenatge. Després se sol col·locar sòl o substrat i es fan sombres i/o plantacions (fig. 1). La planificació i execució de cada fase condiciona la següent actuació i en pot limitar les opcions. Així per exemple, talussos amb molt pendent es tracten aplicant sombres que determinin cobertes herbàcies molt denses per controlar mínimament els processos erosius, però això sol reduir l’establiment espontani de les espècies autòctones de l’entorn. També pot



Figura 3. Pedrera de calcària amb els fronts d'exploració (A). Zona humida desenvolupada espontàniament en una argilera a Campredó (B) (Foto: M. Jorba).

Taula 1. Organismes del sòl en diferents ecosistemes. Font: USDA, Natural Resources Conservation Service.

| | Sòls agrícoles | Prats | Sòls forestals |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bactèries (nº propàguls/g) | 100 milions a 1 bilió | 100 milions a 1 bilió | 100 milions a 1 bilió |
| Fongs (g sòl sec) | Varis metres | 10-100 m | 100-60.000 m |
| Protozous (nº individus/g) | 100-1.000 | 100-1.000 | 100.000 |
| Nematodes (nº individus/g) | 10-20 | 10-100 | 100 |
| Artròpodes (nº individus/m²) | 100 | 500-2.000 | 10.000-25.000 |
| Cucs de terra (nº individus/m²) | 5-30 | 10-50 | 10-50 |

limitar el rendiment de les plantacions per la competència dels recursos (aigua i nutrients) amb les herbàcies (Jorba i Vallejo, 2008).

Malgrat tot el que ja s'ha fet, caldria dirigir els esforços a obtenir resultats més holístics tot aplicant els principis de la restauració ecològica, entesa com la restitució de la majoria de processos ecosistèmics i la biodiversitat afectats durant l'exploració. De tota manera, la important degradació dels espais miners pot fer inviable la restauració si no s'adopten estratègies i plantejaments adequats des del mateix pla d'exploració i el programa de restauració associat, i els aspectes edàfics són elements claus dintre d'aquest procés.

El sòl per a restaurar

Sense dubte, la millor opció per disposar de sòl de qualitat per a la restauració és aprofitar els materials edàfics de les zones que es volen explotar. Els constituents abiòtics i especialment els biòtics (taula 1) dels sòls naturals representen recursos difícilment reproduïbles mitjançant actuacions antròpiques. Sovint es valora més la fertilitat química i els continguts de nutrients presents en els sòls naturals i s'obliden els beneficis dels organismes que hi habiten i el banc de llavors que incorporen. El conjunt d'organismes del sòl determinen els processos de descomposició de la matèria orgànica i l'obtenció dels nutrients essencials per a la vegetació. D'altra banda, el banc de llavors del sòl pot representar una via valuosa per incorporar determinades espècies a una zona restaurada, ja que no totes les espècies vegetals autòctones

estàn disponibles en els vivers forestals. El problema, precisament, és com mantenir la qualitat biòtica dels materials edàfics dels sòls naturals. El procés de decapat i abassegament dels sòls determina pèrdues importants de la qualitat física, química i biòtica del sòl i depèn molt de la forma com es realitza, la forma i dimensió dels acopis i el temps d'emmagatzematge (Pederson *et al.*, 1978; Harris *et al.*, 1989; Harris *et al.*, 1993). Es calcula que la pèrdua de fertilitat química pot ser entre el 40-80% respecte als sòls naturals inicials (Shrestha i Lal, 2011) i l'activitat microbiana queda molt afectada des dels primers moments de la manipulació del sòl (Waaland i Allen, 1987; Anderson *et al.*, 2008).

Un altre problema és la quantitat de sòl disponible. Els sòls mediterranis tenen poca fondària i, en general, durant el seu decapat s'obté un volum insuficient per a la restauració. Per resoldre aquesta situació, algunes empreses utilitzen terres externes per a la restauració. Si bé, aquesta pot ser una bona solució, existeixen aspectes que poden condicionar la revegetació posterior. L'ús de terres al·lòctones comporta la incorporació del banc de llavors i de rizomes de la vegetació d'origen (entre 4-20 espècies depenen d'on provenen; Fernández, 2010). Depenent de la procedència de les terres, les espècies que s'aporten tenen poc interès dintre del procés de revegetació, però poden limitar el desenvolupament de les sèmbrs previstes (Jorba, 2007) o poden ser un vector de dispersió d'espècies invasores o exòtiques (*Arundo donax* i *Ricinus communis* entre d'altres).

Taula 2. Exemple de la variabilitat de les característiques dels materials que s'utilitzen per a l'obtenció de substrat en la restauració d'explotacions de calcària. (Dades pròpies).

| | Rebuig | Materials externs |
|------------------------------|--------------------------|-------------------|
| % TF ($\varnothing < 2$ mm) | 24,6-65,7 | 51,7-84,2 |
| Textura | Fr-aren/ Fr/ Fr-argilosa | Fr-areno / Fr |
| % Corg | 0,24-0,53 | 0,3-1,4 |
| % Nt | 0,04-0,06 | 0,07-0,10 |
| P assim (mg/kg) | 3-5,7 | 8-16 |
| Ksat (mm/seg) | 0,02-0,37 | 0,01-0,04 |

Una altra alternativa per poder obtenir substrats per a la restauració és l'aprofitament de materials de rebuig de les mateixes explotacions. Depenent de la puresa local del recurs que s'explota i del producte que es comercialitza es generen quantitats variables de materials minerals sense valor econòmic que se solen utilitzar per a crear els substrats. Aquests materials de rebuig tenen característiques físiques i químiques molt variables, però poden ser pedregosos, poc fèrtils i inerts (taula 2; fig. 4). Una pràctica molt estesa és l'addició d'esmenes orgàniques als materials de rebuig amb baixa fertilitat. Alguns plantejaments proposen afegir dosis importants d'esmenes per proporcionar quantitats elevades de nutrients (Alcañiz *et al.*, 2008). En diferents experiències, s'ha vist, però, que dosis molt inferiors a les proporcions proposades poden tenir efectes negatius en la vegetació, tant pel que fan a la germinació d'algunes espècies natives (Josa *et al.*, 2006) com en la supervivència de les plantacions (Fuentes *et al.*, 2007; Jorba, 2013).

A més, hi ha un altre aspecte poc valorat i és el fet de restituir terres amb característiques molt diferents als sòls naturals que hi havia inicialment. Això també pot tenir conseqüències en la revegetació. Per exemple, la dinàmica hídrica d'un sòl (infiltració, porositat, humitat a capacitat de camp) condiciona el tipus d'espècies que poden establir-se i desenvolupar-se. Així, indirectament, l'ús d'unes terres o unes altres pot determinar la instal·lació d'una vegetació o una altra.



Figura 4. Exemples de materials de rebuig que s'utilitzen en restauració d'explotacions (Fotos: M. Jorba).

L'estudi de restauracions entre 4-12 anys d'antiguitat posa de manifest que les zones amb terres poc pedregoses i fèrtils determinen cobertures herbàcies elevades, en contrast amb els substrats obtinguts a partir de materials de rebuig, més pedregosos, on predominen les espècies llenyoses (fig. 5; Jorba, 2015). Aquest fet és la conseqüència de diferents aspectes directament o indirectament relacionats amb els sòls/substrats reposats. Així, la pedregositat dels materials de rebuig determina la rugositat superficial que afavoreix la infiltració de les precipitacions i l'efecte mulching de les pedres limita el desenvolupament herbaci. A més, la macroporositat dels horitzons més superficials redueix la pèrdua de l'aigua edàfica del subsòl. Això, juntament amb la menor presència d'herbàcies afavoreix el desenvolupament de les espècies llenyoses plantades. Si la coberta herbàcia és poc densa, els processos de colonització des de l'entorn poden ser també més efectius. A més, els diferents ambients edàfics i de vegetació també condicionen el tipus de fauna del sòl en les zones restaurades i no s'observen grups de sòls forestals, ni en les zones més antigues (Andrés i Mateos, 2006).

Com es pot veure, crear un sòl o substrat per restaurar espais degradats és tot un repte però, després de trenta anys d'implementació de la Llei 12/1981, la informació que es disposa ofereix un ventall d'alternatives de gran interès.

Gestió dels materials per a poder restaurar millor

El sòl, doncs, esdevé un element clau dintre del procés de restauració en aquests espais on l'alteració és tan severa i on cal reconstruir tot l'ecosistema. De la gestió de les seves característiques físiques i químiques se'n derivarà el funcionament de l'ecosistema a curt i llarg termini. Per això, cal tenir clar "a priori" quins són els objectius que es volen assolir amb la restauració de cada explotació i a partir d'aquí definir les estratègies





Figura 5. Zones restaurades a pedreres del Garraf de 5 anys d'antiguitat. Terres externes fèrtils (A). Materials de rebuig de l'exploració (B) (Fotos: M. Jorba).

que cal adoptar segons els recursos edàfics de què disposa cada empresa. Per exemple, si es vol afavorir un tipus de fauna pròpia de matollars i zones obertes, el sòl/substrat ha de ser poc fèrtil per alentir la successió vegetal, especialment si a l'entorn hi ha pinedes secundàries, i el sòl actuarà com a factor limitant. Contràriament, si l'entorn és pobre en prats i cal potenciar-los per crear hàbitats concrets, caldrà pensar en continguts inicials de nutrients al sòl més elevats per afavorir-ne el seu establiment.

De tota manera, la creació de nous espais naturals a partir de zones altament degradades, com són les afectades per activitats extractives, necessita implementar un procés de vigilància-correcció continu durant les primeres fases de desenvolupament (gestió adaptativa), que minimitzi la incertesa generada per la gran quantitat de factors que intervenen en l'evolució d'aquests ecosistemes joves.

Bibliografia

- Alcañiz, J.M., Ortiz, O. i Carbassa, V. (2008). *Utilització de fangs de depuradora en restauració*. Generalitat de Catalunya.
- Anderson, J.D., Ingram, L.J. i Stahl, P.D. (2008). Influence of reclamation management practices on microbial biomass carbon and soil organic carbon accumulation in semiarid mined lands of Wyoming. *Applied Soil Ecology* 40: 387-397.
doi: [10.1016/j.apsoil.2008.06.008](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.008)
- Andrés, P. i Mateos, E. (2006). Soil mesofaunal responses to post-mining restoration treatments. *Applied Soil Ecology* 33: 67-78.
doi: [10.1016/j.apsoil.2005.08.007](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.08.007)
- Bradshaw, A.D. i Chadwick, M.J. (1988). *Restauració de terres. Ecologia i recuperació de terres malmeses i degradades*. Manuals n. 4. Servei de medi ambient. Diputació de Barcelona.
- DOGC. Núm. 189 - 31.12.1981. Departament de la Presidència. LLEI 12/1981, de 24 de desembre, per la qual s'estableixen normes addicionals de protecció dels espais d'especial interès natural afectats per activitats extractives.
- Fernández, C. (2010). *Evolució de la vegetació herbàcia*

a mig termini en pedreres de roca calcària en fase de restauració. Treball de Final de Màster, Universitat de Barcelona.

- Fuentes, D., Valdecantosa, A., Cortina, J. i Vallejo, V.R. (2007). Seedling performance in sewage sludge-amended degraded mediterranean woodlands. *Ecological Engineering* 31: 281-291.
doi: [10.1016/j.ecoleng.2007.09.001](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.09.001)
- Generalitat de Catalunya. (1987). *Recomanacions tècniques per a la restauració i condicionament dels espais afectats per activitats extractives*. Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- Generalitat de Catalunya. (2015). <http://mediambient.gencat.cat>
- Gobierno de La Rioja. (2006). *Manual de restauración de minas a cielo abierto*. Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial, Dirección General de Política Territorial.
- Harker, D., Sheri, E., Evans, M. i Harker, K. (2000). *Landscape Restoration Handbook*. Lewis.
- Harris, J.A., Birch, P. i Short, K.C. (1989). Changes in the microbial community and physico-chemical characteristics of topsoils stockpiled during opencast mining. *Soil Use and Management* 5: 161-168.
doi: [10.1111/j.1475-2743.1989.tb00778.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1989.tb00778.x)
- Harris, J.A., Birch, P. i Short, K.C. (1993). The impact of storage of soil during opencast mining on the microbial community: a strategist theory interpretation. *Restoration Ecology* 1: 88-100.
doi: [10.1111/j.1526-100X.1993.tb00014.x](https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1993.tb00014.x)
- Instituto Geológico y Minero de España. (2004). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. Serie: Guías y manuales N° 2. Madrid.
- Jiménez, C., Huante, P. i Rincón, E. (2006). *Restauración de minas superficiales en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental.
- Jorba, M., Ninot, J.M. i Vallejo, R. (2007). Las siembras en la revegetación de zonas afectadas por minería. *Ingeopres* 166: 58-61.
- Jorba, M. i Vallejo, V.R. (2008). La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riegos. *Ecosistemas* 17(3): 119-132.
- Jorba, M. i Vallejo, V.R. (ed). (2010). *Manual per a la restauració de pedreres de roca calcària en clima mediterrani*. Generalitat de Catalunya. 100 pp.
- Jorba, M., García, C. i Ninot, J.M. (2013). Efectos de la aplicación de biosólidos en plantaciones de especies leñosas para restauración de canteras de caliza medi-

- terràneas. *Ecología* 25: 109-120.
- Jorba, M. (2015). *La restauració del sòl en la revegetació d'espais miners*. Jornada sobre la recerca en sòls a Catalunya. ICEA. Barcelona.
- Josa, R., Jorba, M. Hereter, A., Ganzer, L. i Vallejo, R. (2006). *Limitaciones del uso de substratos de restauración y respuesta de la vegetación en canteras de áridos*. II Congreso Internacional de Ciencia del Suelo. Huelva.
- López Jimeno, C. (ed). (2006). *Manual de construcción y restauración de escombreras*. E.T. S.I. Minas, Universidad Politécnica de Madrid.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2013). *Estadística minera de España*. Gobierno de España.
- Neri, A.C. i Sánchez, L.E. (2012). *Guia de boas practicas de recuperação ambiental em pedreiras e minas de calcário*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- Pederson, T. A., Rogowski, A.S. i Pennock, R. (1978). Comparison of morphological and chemical characteristics of some soils and minesoils. *Reclamation Review* 1: 143-156.
- Shrestha, R.K. i Lal, R. (2011). Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. *Geoderma* 161: 168-176.
[doi: 10.1016/j.geoderma.2010.12.015](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.015)
- UEPG. (2012). <http://www.uepg.eu/key-uepg-topics/case-studies/biodiversity>.
- Waaland, M.E. i Allen, E.B. (1987). Relationship between VA mycorrhizal fungi and plant cover following surface mining in Wyoming. *Journal of Range Management* 40: 271-276.
<http://dx.doi.org/10.2307/3899096>