

**SOCIETAT CATALANA
DE TECNOLOGIA**

CONTAMINACIÓ INDUSTRIAL

I MINERIA

LA MINERIA: IMPACTE

I RESTAURACIÓ DELS SÒLS,

A CÀRREC DE

JOSEP FONT,

DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA

DE CATALUNYA

1. INTRODUCCIÓ A LA IMPORTÀNCIA DE LA MINERIA I ELS SEUS RESIDUS

Paleolític, *Mesolític*, *Neolític*, edat de *pedra*, edat del *ferro*, edat del *bronze*, etc., són paraules que relacionen èpoques de desenvolupament humà amb el món de la mineria. La comunitat científica va batejar les diferents èpoques prehistòriques de la humanitat amb noms derivats dels georecursos, de tal manera que els diferents col·lectius humans han aplicat i aprofitat la corresponent tècnica minera per desenvolupar-se més bé, i paral·lelament aquelles societats han marcat fites en la prehistòria.

Tant per als humans prehistòrics com per als actuals, les bases materials de les seves societats es fonamenten en materials geològics, les seves matèries primeres provenen majoritàriament dels georecursos, i les energies que fan servir per transformar i adequar aquestes matèries encara tenen pràcticament l'origen en el subsòl.

La societat, ara més que mai, necessita irremeiablement l'aprofitament dels materials del subsòl. No seria econòmicament rendible, ni sostenible, amb els coneixements actuals, no aprofitar els recursos naturals d'un país, encara que s'ha de diferenciar un aprofitament sostenible del d'una explotació sense cura ni gestió raonable d'aquests georecursos limitats.

L'aprofitament dels georecursos es duu a terme per mitjà de les mines. Mina, segons la Gran Enciclopèdia Catalana, és una *obra subterrània que hom fa per aprofitar una substància mineral*. Aquesta definició pot ésser massa limitada. De fet, de manera tradicional poden ser subterrànies o a cel obert, i a la vegada es pot presentar de manera molt diferent, com per exemple la captació subterrània de l'aigua mitjançant un pou, o també un altre exemple com el conreu miner a través del rentatge dels sediments aurífers d'un delta per mitjà d'una barcaassa aspiradora, que separa per gravetat els seus detritus de l'or.

2. HISTÒRIA DELS RESIDUS EN LA MINERIA

L'impacte dels residus de la mineria en el medi ha estat molt diferent al llarg de la història. Bàsicament hi ha impacte quan hi ha intensificació, i això principalment ha estat en els darrers temps, encara que un repàs a la història de la mineria aporta observacions interessants.

En el Neolític ja hi ha veritables jaciments miners en el nostre país, així a Riner (Solsonès) s'obtenia aram a partir de malaquites i atzurites. Però el jaciment més espectacular d'aquella època és el de Can Tintorer, a Gavà (Baix Llobregat). Allà hi ha hagut una indústria minera amb un veritable sistema de galeries i pous, de fa sis mil cinc-cents anys, amb períodes continus de més de mil anys, extraient variscita per a grans de collarets. Pel fet que el seu mètode d'explotació era seleccionat en la mateixa explotació minera, els seus residus o les roques sense interès eren dipositades una altra vegada en les mateixes galeries. De ben segur que per l'esponjositat dels esquistos excavats també hi sobreviven materials que es dipositaven en terreres, però tant de bo actualment sempre es fes així.

227



FIGURA 1. Mines prehistòriques de Can Tintorer, a Gavà.

Un altre escenari interessant que cal considerar històricament, des del punt de vista dels residus miners, és en el paratge de Las Médulas, de Lleó (Bierzo). Són antigues mines d'or que els enginyers romans van aprofitar d'una manera molt enginyosa i eficaç. Amb l'ajuda de l'aigua transportada per canals de desenes de quilòmetres, era acumulada en dipòsits i deixada anar de sobte en excavacions subterrànies gairebé verticals, de tal manera que la forta erosió obtinguda excavava els materials detrítics portadors d'or. El fang amb or era dirigit a unes tanques vegetals adhesives, on, mitjançant el foc d'aquestes, es concentrava el desitjat metall. El resultat final de tota aquesta excavació ha estat la impressionant depressió de Las Médulas i la consegüent acumulació de fang al riu Sil, que fins i tot va variar el curs. Aquí ja es troba un dels primers efectes negatius importants en la mineria a la Península.



FIGURA 2. *Excavació a les mines romanes d'or de Las Médulas (Bierzo).*

Un altre episodi important en la història de la mineria pel que fa als residus i al seu impacte es troba a partir del segle XVI, en el qual, a causa de les necessitats importants de minerals, si-

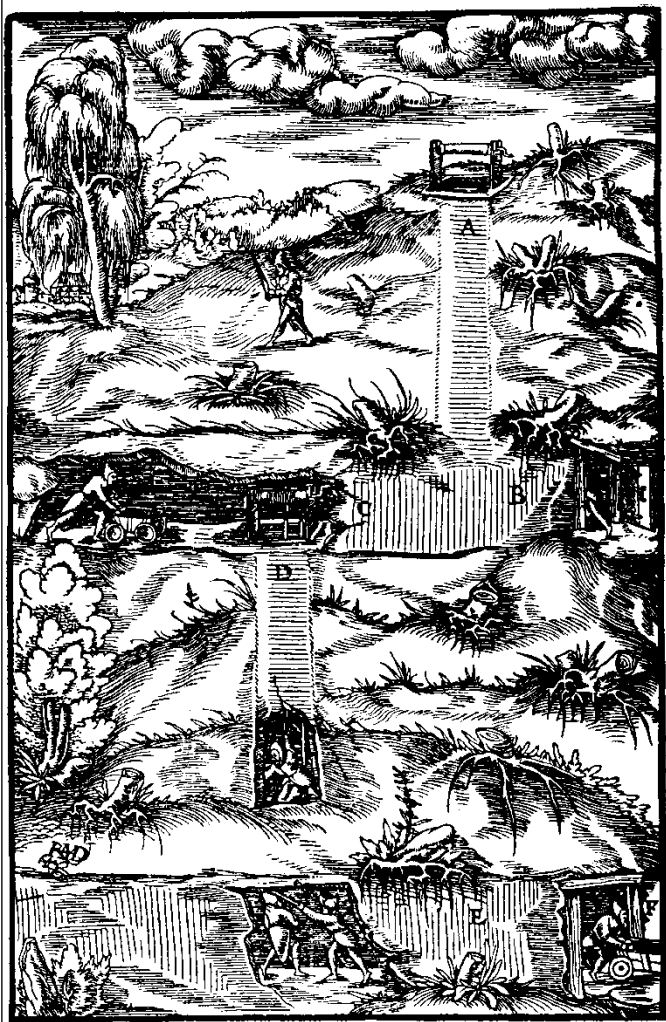
gui de ferro i aram per a les eines i armes, sigui per a l'obtenció del cinabri per amalgamar or a la recent Amèrica, o sigui d'altres matèries primeres del naixement de la primitiva indústria, s'excaven veritables mines subterrànies, amb tot el que comporta el seu conreu miner. En aquestes mines hi ha grans quantitats d'estèrils abans no s'arriba als estrats o filons aprofitables. Un altre problema en aquestes considerables excavacions és la intrusió de les aigües subterrànies. A part del problema que representa treballar per sota del nivell freàtic, moltes vegades les aigües es contaminen en aquest procés d'extracció. No és gens menyspreable, tampoc, que en les factories de transformació o «ingenios», comencin a haver-hi quantitats considerables de llots de metalls pesants que contaminen rius importants.

La importància més gran dels residus de la mineria sorgeix en les darreres desenes d'anys. Ara és quan, a causa de la industrialització, de la fabricació dels automòbils, de la forta activitat constructiva en habitacles, en vies de comunicació i d'infraestructures, es necessita més quantitat i més qualitat; tot plegat desemboca en un augment espectacular de matèries primeres i, en conseqüència, de residus miners. Es creu que en un país desenvolupat es necessita una mitjana de 15.000 kg de roques per persona i any.

229



FIGURA 3. *Runam de sal de les mines de potassa de Sallent-Balsareny.*



A: Pozo.—B, C: Galería.—D: Otro pozo.—E: Socavón.—F: Boca del socavón

FIGURA 4. Excavacions mineres segons «Re metàl·lica».

3. PROBLEMÀTICA INTRÍNSECA DE LA MINERIA

La importància cabdal de la mineria amb l'obtenció de les matèries primeres per a la indústria és indiscutible, per a la qual la disminució o eliminació de les activitats mineres no és factible.

La mineria té, a més, altres característiques que fan els aprofitaments miners inamovibles dels seus emplaçaments, que poden estar fins i tot al costat de nuclis urbans, amb els consegüents problemes que comporten. És sabut que els jaciments miners no es troben en qualsevol lloc, sinó que estan localitzats en uns afloraments concrets relacionats amb la geologia. D'aquesta manera, o s'aprofiten o es deixen allà on són, sense possibilitat d'emplaçar les mines allà on convingui per minvar l'impacte que comporten. S'ha de considerar que la majoria de les mines, a més de les aportacions positives a la societat, també ocasionen runam d'estèrils, subsidències del terreny pel buidatge de l'interior, transport de material amb el consegüent augment de densitat viari, etc.

231

4. IMPACTES DE LA MINERIA

En aquest capítol s'inclouen els impactes potencials ambientals segons les Nacions Unides (1994) en el seu llibre *Environmental Management of Mine Sites*, encara que es podrien incloure altres classificacions també molt escaients, tot i que una mica més antigues, com: *Recomanacions tècniques per a la restauració i condicionament dels espais afectats per activitats extractives*, del Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya, Barcelona, 1987, o també *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*, de l'Instituto Tecnológico Geominero de España, 1989.

Després de la recopilació d'impactes, s'ha cregut convenient parlar dels actors finalistes d'aquest impactes, com són, principalment: l'aigua, els diferents residus i subproductes, els fets geotècnics, com la subsidència, les terreres i el paisatge canviant.

4.1. *Impactes*

La contaminació ambiental de les activitats mineres, generalment es pot classificar en dues categories: la contaminació química i la contaminació física. Així mateix s'adjunta la taula 1.

4.1.1. Contaminació química

La contaminació química és una de les contaminacions ambientals més serioses, perilloses i llargues en el temps. Una contaminació d'aquest tipus ha d'ocórrer en les aigües superficials pels drenatges de les mines, en les aigües subterrànies a través de l'escolament, a través de les emissions a l'aire, o com a sòl contaminat.

La contaminació química pot derivar-se de reactius químics que s'introdueixen en els processos per a l'enriquiment del mineral extret, o també del mateix mineral que s'ha preservat geològicament una vegada és arrencat de l'interior i exposat a l'oxidació per l'aire o per l'aigua; llavors pot esdevenir un perill químic.

En la mineria metàl·lica molts minerals contenen sulfurs, els quals, quan s'oxiden i s'exposen a l'aigua, produeixen àcid sulfúric. Els metalls pesants, encara en petites quantitats, poden ser perillosos per a la salut humana i per a la mateixa vida aquàtica. Les sals potàssiques o sòdiques són

molt solubles i fàcilment transportables per l'aigua superficial o subterrània, amb la qual cosa afecten els cursos dels rius i dels aqüífers.

La contaminació química de l'aire pot ésser generada per l'olor del mineral i del gasoil en la producció de l'electricitat o dels motors dels camions i màquines mineres. Quan els nivells de sulfurs són significants, poden combinar-se amb la humitat atmosfèrica per produir la pluja àcida. La contaminació química de l'aire pot ocórrer també per l'evaporació de productes químics introduïts, per exemple mercuri i cianides.

4.1.2. Contaminació física

Aquesta forma de contaminació ambiental pot resultar tant de la mineria en si com de les activitats de processament del mineral. Els efectes nocius poden esdevenir de sòlids suspesos en l'aigua, depuració d'ecosistemes aquàtics amb capes de sediments, sòls erosionats, pols en l'aire, o degradació de terres per dipòsits no apropiats o residus sòlids miners.

Moltes vegades, les aigües contaminades físicament van acompanyades de contaminació química. Grans quantitats de pols en l'aire redueixen la visibilitat i poden afectar la salut humana i la resta de la biosfera. Altes concentracions de partícules de pols en l'aire poden ser la causa d'erosions en edificis i causar danys a maquinària i equípaments.

Males planificacions de dipòsits de residus poden esterilitzar extenses zones de terres, que poden tenir una costosa recuperació futura, i a més poden ésser la causa substancialment adversa d'un impacte visual.

TAULA 1. *Potencials impactes ambientals, fonts de contaminació, qüestions de salut ocupacional, i impactes socioeconòmics i culturals associats amb activitats mineres, segons Nacions Unides, 1994*

Impactes ambientals

- Destrucció d'hàbitats naturals en els llocs miners i en els seus dipòsits de residus o subproductes.
- Destrucció d'hàbitats adjacents com a resultat d'emissions i descàrregues.
- Destrucció d'hàbitats adjacents com a resultat de l'influx d'un assentament miner.
- Canvis adversos en règim fluvial i ecològics deguts a pol·lucions, sedimentacions i modificacions de fluxos.
- Alteracions de nivells freàtics.
- Contaminació de sòls per tractament de residus i basaments químics.
- Canvis en la superfície del terreny.
- Degradació de terres deguda a rehabilitacions inadequades després de la clausura.
- Inestabilitats de terres i subsidències.
- Danys per mancances en estructures i preses.
- Abandonament d'equipament, edificis i construccions en general.

Qüestions de salut ocupacional

- Treballs en productes químics.
- Inhalació de pols.
- Emissions incontrolades dintre de la planta.
- Emissions en l'aire dintre d'espais confinats: pel transport, per voladures o per combustions.
- Exposició a l'asbest, cianur, mercuri o altres materials tòxics usats en el lloc de treball.
- Exposició a la calor, a la humitat, al soroll i a les vibracions.
- Risc físic en els fronts.
- Condicions de vida no suficientment sanitàries.
- Condicions i pràctiques de treball moltes vegades insegures.

Impactes socioeconòmics i culturals

- Dislocació de la població local.
- Efectes en grups ètnics.
- Efectes en llocs històrics i religiosos.
- Propietat de la terra.
- Conflictes respecte a usos de la terra, vida salvatge i recursos d'aigua.
- Diferenciació en la participació de dones i grups indígenes.
- Canvis de patrons socials, culturals i econòmics dintre de la comunitat local.
- Canvis en infraestructures, transports, etc.
- Necessitat d'aprendre noves especialitzacions.
- Afluència de personal de treball de força.

Fonts de contaminació

- Drenatge de mines, incloent-hi les aigües àcides o contaminades.
 - Sediment provinent de les explotacions mineres.
 - Contaminació resultant d'extraccions mineres en llits de riu.
 - Emissions de processament de minerals.
 - Aigües residuals de l'explotació.
 - Basaments d'olis i gasoil.
 - Lixiviats o contaminacions de terrenes de residus, zones de dipòsits i sòls contaminants.
 - Emissions a l'aire d'activitats en el procesament de minerals.
 - Emissions de pols provinents d'explotacions properes a zones residencials i habitades.
 - Escapaments de metà de les mines.
-

4.2. *Aigua en la mineria*

L'aigua és l'element de transport de la contaminació per excel·lència, i com que en la majoria de les explotacions mineres hi ha aquest medi, esdevé necessari tenir-la molt en compte.

Per a una major comprensió i facilitat d'estudi, aquesta secció es divideix en l'aigua superficial i l'aigua subterrània.

235

4.2.1. *Aigües superficials*

Uns dels impactes més immediats i aparents de les activitats mineres sobre les aigües són els de naturalesa física. Les operacions d'extracció a cel obert trenquen la superfície del terreny i n'eliminen la cobertura vegetal. Això produeix principalment un augment de l'escolament, a la vegada que repercuteix en l'erosió del sòl, que pot ocasionar un augment de la terbolesa aigües avall. Aquesta mena d'impactes es poden corregir mitjançant embassaments que tenen un doble efecte: la regulació i la sedimentació de dipòsits (Carrera, Font, Mata, 1999).

Molt més greus i difícils de corregir són els impactes de tipus químic. La seva naturalesa depèn de molts factors,

per la qual cosa és difícil establir pautes generals. Els problemes més freqüents són, com ja s'ha dit, els associats a sulfurs (en les extraccions de tota mena de metalls i carbó amb un alt contingut en pirita) i a l'augment de la salinitat.

Pel que fa a l'oxidació de la pirita (FeS_2), dóna àcid sulfúric (H_2SO_4) i ferro (que precipita com $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Això implica un augment de l'acidesa i de la concentració de metalls que van associats amb el mineral (arsènic, cadmi i zinc, tots tòxics). Pel fet que es tracta de reaccions lentes, els seus efectes es poden materialitzar força lluny de la mina. Aquests efectes comprenen des del purament estètic (les aigües es tornen tèrboles, amb colors vermellosos) fins als biològics (reducció o eliminació de la flora i la fauna del riu).

L'escolament superficial i el flux a través de terres salines condueix moltes vegades a un augment de la salinitat de l'aigua. L'efecte és menys impactant visualment que el dels sulfurs, però no pas menyspreable (vegeu la figura 5).

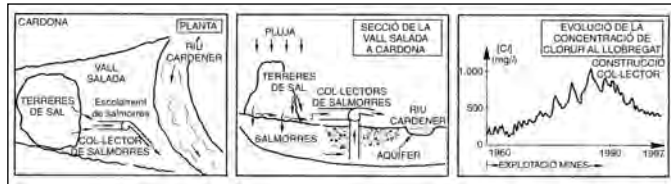


FIGURA 5. Representació esquemàtica de l'escolament de salmorres i de la intercepció. A la dreta es mostra l'evolució de les concentracions de clorur al riu Llobregat (Carrera, Font, Mata, 1998).

La correcció de la contaminació química de les aigües pot ser molt difícil si no ha estat planificada des d'un bon començament. Bàsicament hi ha dues alternatives: impedir l'entrada de l'aigua o recollir-la a la sortida. Com a norma general és millor la primera. Malauradament, pot esdevenir molt car i tecnològicament complex si les entrades estan molt

disperses o les terreres ocupen grans superfícies. En tot cas, és recomanable fer-ne un estudi hidrològic complet. L'alternativa de recollir l'aigua a la sortida també pot ésser difícil si des del principi no s'ha establert un sistema de drenatge. Té el cost afegit del tractament de l'aigua, que en el cas de la sal dissolta és difícil.

4.2.2. Aigües subterrànies

L'impacte de les activitat extractives sobre les aigües subterrànies pot ser de dos tipus:

- a) rebaixament del nivell freàtic,
- b) pèrdua de qualitat de l'aigua i contaminació.

A la figura 6 es mostren alguns dels efectes d'aquests dos tipus d'impactes.

237

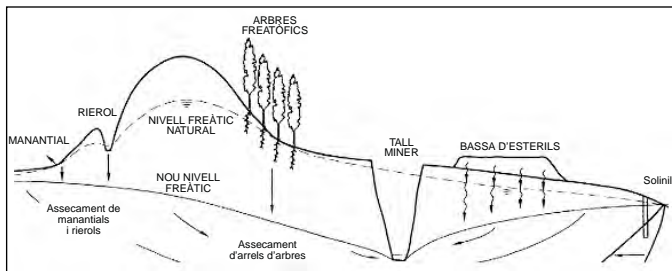


FIGURA 6. Representació esquemàtica d'alguns dels possibles impactes de la mineria sobre les aigües subterrànies (Carrera, Font i Mata, 1998).

El bombeig d'aigua és necessari tant en mines a cel obert com en extraccions subterrànies. El tipus d'impacte associat a aquests bombeigs no és qualitativament diferent

del que es produeix per la sobreexplotació d'aqüífers i inclou fenòmens de subsidència, assecament de surgències d'aigua, augment de la intrusió marina, reducció (i fins i tot, assecament a l'estiu) del cabal de rierols, pèrdua de boscos de ribera i en general de plantes freatofítiques, etc. La diferència més important radica en el fet que els rebaixaments del nivell freàtic necessaris en mineria solen ser molt marcats i cal que es mantinguin durant molts anys.

El rebaixament del nivell freàtic és molt difícil d'evitar. En teoria, es poden construir barreres hidràuliques (reinjectant l'aigua bombejada o construint barreres de baixa permeabilitat) per limitar-ne l'abast. En la pràctica, però, aquestes solucions solen ser massa costoses, per la qual cosa convé evitar explotacions en zones que estiguin en contacte amb aquífers.

En general, les mesures que cal adoptar per evitar la contaminació d'aigües subterrànies han de ser:

- a) Evitar el flux d'aigua a través dels estèrils i deixalles, la qual cosa implica la construcció de cobertures, revegetació, etc.
- b) Tractar els efluents dels processos.
- c) Minimitzar les alteracions en els fluxos d'aigua.

Evidentment, tot això requereix estudis previs acurats i condueix a actuacions que poden ser molt difícils d'implementar en mines en operació. En tot cas, s'ha de tenir present que el tancament d'una mina no resol els problemes. De fet, els problemes de contaminació solen restar confinats durant l'operació, perquè el bombeig tendeix a limitar l'extensió de la contaminació. És precisament quan la mina es tanca i l'aigua recupera les seves línies de flux naturals que la contaminació pot arribar més lluny. Per això, l'estudi de l'aigua subterrània pot ser molt important en els projectes de restauració.

4.3. *Runams o terreres*

Els runams o terreres són amuntegaments de materials procedents de la mina, fruit del decapatge del terreny fins que surt el mineral a aprofitar, o del material obsolet o estèril que acompanya el mineral objecte, o també del producte rebutjat en la planta de processament o d'enriquiment.

Això fa que les terreres vagin gairebé sempre paral·leles a les explotacions mineres. Per aquesta raó mentre duri una mina hi haurà una terrera. Malgrat tot el que s'ha expressat, aquests amuntegaments han d'acomodar-se al mínim impacte visual i, per descomptat, no afectar altres impactes més importants, com són la contaminació de l'aigua superficial o subterrània, o altres de tipus geotècnics, o que afectin la fauna i la flora, o les infraestructures.

4.4. *Subsidències*

La subsidència és el rebaixament de la superfície del terreny per l'extracció de material subterrani. Des d'un punt de vista fenomenològic es poden distingir dos tipus de subsidència. El primer es refereix al desplaçament d'estrats fins a recuperar els buits creats per les mines. El segon es refereix a la compressió dels materials geològics causada per l'extracció d'aigua. L'efecte final és el mateix: la superfície del terreny es rebaixa. Si aquest descens no és uniforme, es poden produir danys a les construccions, trencaments de conduccions, alteracions a les lleres naturals, etc.

Per tal de limitar els efectes de la subsidència es poden esmentar les possibilitats següents:

- a) Deixar-hi suficient material de suport.
- b) Deixar sense excavar les zones amb més risc.

- c) Afavorir els mètodes d'excavació que produeixen una subsidència més previsible i uniforme.
- d) Reomplir els buits de la mina amb el rebuig miner o altres per tal de reduir el volum extret.

Respecte a la subsidència causada per l'extracció d'aigua, és aplicable el que s'ha explicat en la secció anterior. En tot cas, aquesta mena de subsidència sol ser uniforme, per la qual cosa no sol produir gaire dany.

4.5. *Paisatge*

Si considerem el paisatge com el complex d'interaccions de roques, aigua, plantes, animals i persones, esdevé lògic que se'n faci l'estudi amb el coneixement de tots aquests elements. Per aquest motiu en aquests temes es necessiten equips plurals amb diversitat de coneixements.

El paisatge és un element important que afecta la sensibilitat de les persones. Així, doncs, si s'adopta reconstruir un espai com el que era abans, les obres de restauració s'hauran de fer tenint en compte l'harmonia dels elements disponibles. Com a principi general, les formes del paisatge resultant de la restauració haurien de ser semblants a les dominants a l'entorn natural. Així, convé evitar fronts perpendiculars i molt alts. En llocs en què s'està per sota del nivell freàtic pot ser factible adequar un espai humit com a refugi d'aus, com ja s'ha fet en molts indrets.

5. SOLUCIONS A L'IMPACTE DE LA MINERIA

Els impactes de la mineria, com s'ha vist, són diferents i no tots tenen la mateixa importància davant de la sostenibilitat.

En un principi sembla que l'impacte que domina més és l'ocasionat per les terreres o runams, i que el primer que s'ha de fer és una restauració d'aquells espais. També es creu que hi ha altres mesures o maneres de fer que s'hauran de considerar, com s'explica posteriorment.

La primera solució que esdevé una necessitat davant l'acumulació de grans quantitats de materials, que la majoria de les vegades són subproductes o residus de baixa intensitat, és la restauració. Aquesta restauració pot considerar-se com tornar aquells indrets a les mateixes característiques que tenia abans, o readequar-los a unes noves aplicacions per a la societat.

5.1. *Marc legal autonòmic*

El Parlament de Catalunya, conscient de la importància de la protecció del medi ambient, va aprovar, l'any 1981, la primera normativa específica de l'Estat espanyol dedicada a la protecció i a la restauració dels espais afectats per activitats extractives. Aquesta normativa es va fonamentar en la necessitat de preveure i de pal·liar les conseqüències negatives que les activitats extractives tenen sobre el medi físic. La normativa restauradora per als espais afectats per activitats extractives vigent a Catalunya és pionera en matèria de protecció ambiental (*Quaderns de medi ambient*, 1997).

A Catalunya, el marc legal bàsic referent a la protecció i a la restauració dels espais miners a cel obert està constituït, d'una banda, per la 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 i, de l'altra, pel seu decret de desplegament: el Decret 343/1983, de 15 de juliol. Ambdues disposicions són actualitzades pel Decret 202/1994, de 14 de juny, i pel Decret

legislatiu 14/1994, de 26 de juliol, que estableixen normes addicionals més adients al procés evolutiu que han experimentat la gestió i control d'aquestes activitats des de 1983. Darrerament, la Llei d'intervenció integral de l'administració ambiental 3/1998, de 27 de febrer, permet paral·lelament i de manera simplificada realitzar avaluacions ambientals també en les activitats mineres extractives o de transformació segons l'annex II.

La Llei 112/1981 fixa les directrius bàsiques per a la restauració dels espais afectats per activitats extractives amb la finalitat d'aconseguir que, en acabar l'explotació, puguin integrar-se en el conjunt natural en què es troben. Sobresurt el caràcter globalitzador que aquest text legal exhibeix en l'estudi i en la valoració dels impactes ambientals.

Els requisits bàsics que imposa la Llei 12/1981 són:

- a) la definició de programa de restauració de l'àrea afectada,
- b) el dipòsit d'una fiança per part de l'explotador,
- c) la fixació del període de garantia per assegurar l'efectivitat del compliment del programa de restauració.

De manera general, es pot concloure que, a Catalunya, el desenvolupament normatiu, el suport tècnic i l'actuació inspectora per part de l'Administració ambiental, i l'assaig de noves tècniques i de nous procediments aplicats a la restauració de les activitats extractives són factors que, juntament amb la bona disposició del sector, han conduït a una situació en què l'explotació dels recursos minerals a cel obert és cada vegada més compatible amb la integració ambiental (*Quaders de medi ambient*, 1996).

5.2. Restauració d'escombreres

5.2.1. Criteris de restauració

Des d'un punt de vista tradicional, es tindrà en compte que la restauració pot ésser més fàcil en indrets de gran diversitat biològica. En general, s'han de tenir en compte els espais dominants a la rodalia, perquè aquests són els que realment caracteritzen el paisatge. Així, convé que la vegetació s'implanti en forma de taques (no de formes geomètriques), amb colors semblants als que ja hi ha en el decurs de l'any. És preferible plantar-hi arbres petits, sobre un estrat herbaci que freni l'erosió, a fi que es vagin adaptant al terreny. També cal evitar una artificialitat extra en l'intent de restaurar. La restauració consisteix a ajudar la natura perquè torni a colonitzar i adaptar-se a la seva manera.

5.2.2. Runes i fangs de depuradora

Les runes netes i enderroc inerts (dos milions de tones/any a Catalunya), d'acord amb la Llei 6/1993 i el seu desplegament parcial mitjançant el Decret 201/1994, es poden fer servir per a la restauració morfològica del buits miners, especialment per a aquells indrets miners no restaurats abans de la Llei 12/1981. A fi que una activitat extractiva abandonada es converteixi en un dipòsit controlat de runes, haurà de complir tots els requisits tècnics, econòmics i mediambientals oportuns.

Els fangs secs provinents de depuradores urbanes suposen més de 250.000 tones/any a Catalunya. Aquests fangs són subproductes amb un elevat contingut en matèria orgànica, nitrogen, fòsfor i oligoelements. Per aquesta raó, es poden utilitzar per millorar l'estructura i nutrients del sòl, considerant que el seu destí és per revegetar, minorar l'impacte ambiental i que no són per a conreus comestibles.

5.2.3. Potenciació de dissenys sostenibles

Es potenciarà el disseny d'aprofitaments miners en forma de finestres obertes que es desplacen amb el temps, així com avançament dels fronts en descens (vegeu les figures 7 i 8). Aquests dissenys permeten una restauració integral i una acomodació constant ambientalment.

244

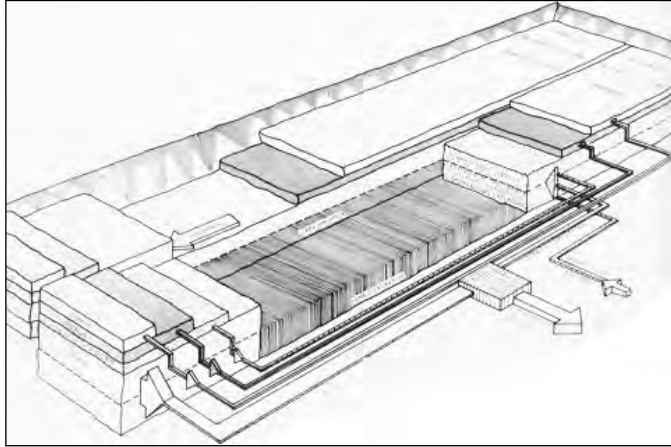


FIGURA 7. Excavació amb disseny de finestra (Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya, 1987).

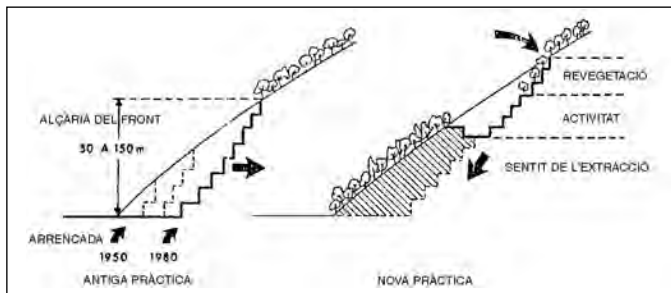


FIGURA 8. Excavació en descens (MOPU, 1989).

5.2.4. Avaluacions ambientals

A fi d'avaluar la qualitat ambiental d'una activitat extractiva, es creu adient l'aplicació de la Llei 3/1998, de 27 de febrer, d'intervenció integral de l'Administració ambiental, annex II, pel que fa a l'avaluació ambiental.

Les avaluacions ambientals, encara que siguin una eina dirigida a les diferents administracions locals, comarcals i autonòmiques, permetran conèixer l'estat ambiental en el camp de la mineria. Massa vegades, aquest sector ha estat en darrer terme, i no és pas per la seva importància estratègica per a qualsevol país.

5.3. *Reflexions futures per a una mineria sostenible*

Com a conclusió del panorama futur sobre una mineria sostenible, es creu oportú ser constantment innovadors i restar a la guàrdia de noves tecnologies, nous processos, noves idees... La tecnologia futura pot ésser inimaginable a hores d'ara, com s'ha demostrat en mirar uns quants anys enrere. La innovació constant ha de ser un imperatiu amb vista al futur. S'ha d'estar al dia en els coneixements i aplicacions que s'han desenvolupat en altres llocs, a fi de millorar-los i readaptar-los a les nostres necessitats. Per tot això, tant les entitats públiques com les empreses privades han d'investigar i destinar-hi esforços econòmics.

A continuació es relacionen altres actuacions concretes que poden ajudar a fer sostenible la mineria.

5.3.1. Cicle de vida dels productes miners

Una de les solucions proposades per detectar l'impacte ambiental que produeix la mineria, a part dels estudis d'impacte ambiental i de restauració que ja es fan de manera regularitzada en la majoria de les instal·lacions mineres, és també l'im-

pacte que produeixen els seus minerals i que esdevenen finalment productes de consum per a la societat en general.

Per aquesta raó es creu convenient realitzar estudis de cicle de vida dels materials que surten de la mina. S'ha de tenir en compte la definició de cicle de vida (coneguda per les sigles ACV o també per LCA, de «Lif Cycle Assessment»), la més utilitzada fins al moment, facilitada per la Societat de Química i Toxicologia Ambiental (SETAC, Society of Environmental Toxicology And Chemistry) «l'ACV és un procés objecte per avaluar les càrregues ambientals associades a un producte, procés o activitat identificant i quantificant l'ús de matèria i energia i els vessaments de residus a l'entorn; per determinar l'impacte que aquest ús de recursos i aquests vessaments produeixen en el medi ambient, i per avaluar i portar a la pràctica estratègies de millora ambiental. L'estudi inclou el cicle complet del producte, procés o activitat, tenint en compte les etapes següents: extracció i processament de matèries primeres; producció, transport i distribució; ús, reutilització i manteniment, i reciclatge i disposició del residu.» (Fullana, Puig, 1997.)

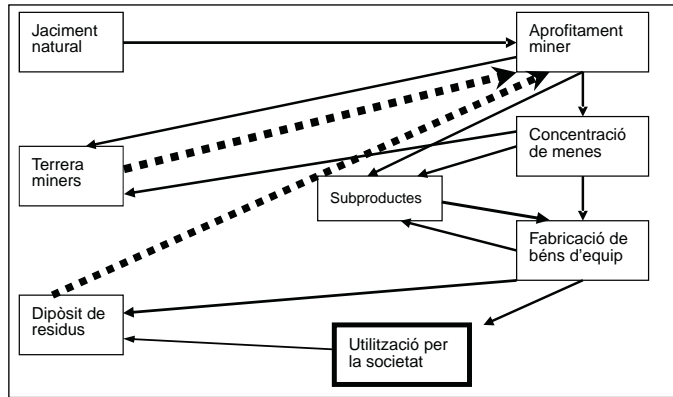


FIGURA 9. *Cicle dels recursos naturals (amb indicació de les innovacions proposades, amb fletxes discontinües).*

A manera d'aproximació a la problemàtica es proposa l'anterior figura 9, on a més s'indiquen alguns suggeriments amb vista a un futur proper (vegeu el punt 5.3.9).

5.3.2. Tecnologies ambientals

Es creu adient utilitzar i potenciar tota mena de tecnologies que afavoreixin la comprensió ambiental en el món de la mineria. És un bon exemple l'ús de sistemes d'informació geogràfica (SIG), per representar les zones afectades i poder-ne fer un seguiment adient.

Moltes vegades es fa difícil reconèixer un indret afectat per contaminacions mineres pel fet que no n'hi ha dades històriques o perquè no estan estratègicament emplaçades. Per aquesta raó, es recomana instal·lar en indrets adequats enregistradors de la qualitat i la quantitat de l'aigua, l'aire i els sòls. Com més aviat es faci, es disposarà de més informació per determinar l'evolució de la contaminació, si escau.

També serà interessant revisar alguns dels estudis realitzats, però que moltes vegades ja no tenen vigència i s'ha perdut molt d'esforç. Per tot això, seria adient concentrar les informacions en bancs de dades ambientals, que fossin punts de partida o de revisió amb els nous estudis. Paral·lelament s'haurien d'aplicar sensors o criteris de millora en els informes o estudis duts a terme, a fi de poder-ne fer un seguiment periòdic.

A la comarca del Bages es va realitzar una experiència globalitzadora de l'estat ambiental de tota la comarca, a través de l'estudi de base per una Agenda 21 comarcal. Es creu que eines com aquesta, o similars, poden facilitar una aproximació a l'estat ambiental de qualsevol sector.

5.3.3. Ambientalització social i minera

La societat en general i la mineria en concret han de tenir clar que no n'hi ha prou que la tecnologia s'apliqui considerant que els enginyers i processos funcionin adequadament i que siguin rendibles econòmicament. S'ha d'afegir un tercer fonament en tota aquesta tecnologia, ja que tot aquest sistema ha de ser també respectuós amb l'entorn, a fi de poder continuar i esdevenir sostenible.

Aquest respecte per l'entorn ha d'ésser com una filosofia de treball i s'ha de fer a tots els nivells, atès que no només és competència de les administracions o empreses, sinó que també ho és d'àmbit individual. Concretament, dins del món de la mineria, són molt importants, per al respecte ambiental, les decisions dels empresaris per dirigir la gestió de les empreses, la manera en què es duen a terme aquestes decisions encarregades a directores tècnics o facultatius de les explotacions, i també la manera com els treballadors executen les tasques encomanades.

Per tot el que s'ha esmentat, es requereix una formació constant, renovada i a tots els nivells, enfocada als tres fonaments esmentats:

- a) optimització del funcionament,
- b) rendibilitat econòmica,
- c) respecte i seguretat per l'entorn i la persona mateixa.

5.3.4. Aprofitaments minerals i restauracions més eficaces

Una explotació minera és la denominació típica en l'argot miner dels treballs subterranis o a cel obert que es realitzen per extreure mineral. Històricament, aquests treballs estaven adreçats a obtenir el màxim benefici, tenint en compte sola-

ment la quantitat i qualitat extreta de mineral i l'autoseguretat personal del procés. Considerant que la majoria dels minerals no són renovables i que segons com s'excaven i s'extreuen poden repercutir en un futur, hi ha autors que prefereixen canviar la denominació d'explotació minera per la d'aprofitament miner. D'aquesta manera s'intenta infondre un respecte en l'extracció; aprofitar en l'aspecte de sostenibilitat; l'aprofitament comporta uns compromisos més extensos.

Es preveuran els nous sistemes de reaprofitament per a aquells jaciments abandonats o que puguin admetre sistemes de lixiviació amb dissolvents apropiats o gasificació dels carbons a través de sondeigs.

Amb relació a les restauracions mineres, principalment a les activitats a cel obert, encara que «...el nivell de minimització de l'impacte és pioner i marca línies a seguir a la resta de l'Estat» (*Quaderns de medi ambient*, 1997), s'ha de potenciar tot allò que sigui òptim per a l'entorn i factible econòmicament, aprofitant sinergies i minimitzant els impediments moltes vegades personals i veïnals. D'aquesta manera s'aprofitaran zones excavades com a abocadors controlats o que serveixin per a altres necessitats socials; principalment es buscaran compromisos per reomplir, segellar i restaurar extraccions d'abans de 1981. Se seguirà i es potenciarà controladament el farciment morfològic dels buits miners amb runes o altres materials adients, així com el millorament dels sòls edàfics amb fangs de depuradora, amb el corresponent control i investigació.

249

5.3.5. Duplicitat d'activitats per a una rendibilitat més bona

L'aprofitament dels minerals sempre ha estat lligat estretament a la repercussió econòmica que genera l'explotació i l'e-laboració del material extret. Darrerament destaca una altra

necessitat imperiosa referent al respecte pel medi ambient, sigui per l'excessiva ocupació del terreny a causa de les terres de les mines o de les pedreres, sigui per contaminació de les aigües i de l'entorn. Cada vegada més es requereix la rendibilitat econòmica de les explotacions, que a la vegada es demana que aquestes instal·lacions mineres siguin també ambientalment segures.

La rendibilitat econòmica d'una explotació minera depèn de diferents paràmetres: els interns, com són la dificultat de l'extracció, de la riquesa del mineral i del procés industrial utilitzat en l'elaboració del producte per a fins industrials; i uns altres d'externs, com són el preu del dòlar i el de l'energia de què es disposa en l'emplaçament de les instal·lacions; però darrerament cada vegada més té una importància cabdal la qüestió de l'impacte social, el qual desencadena unes accions ambientals costoses i a la vegada necessàries per a una societat moderna i respectuosa amb el medi ambient.

D'aquesta manera, si es reutilitzen els excedents de les escombreres o terres que irremediament van lligades a les activitats mineres, o s'aprofiten altres minerals que van lligats al mineral majoritari, o fins i tot es reomple l'espai que queda de l'excavació, aquesta duplicitat econòmica pot fer rendible l'explotació minera, la qual cosa repercutirà en una restauració més bona.

5.3.6. Intensificació pels subproductes

D'acord amb el punt anterior, sorgeix la necessitat d'aprofitar els materials sobrants, tant en el procés d'excavació i selecció com en el procés de fabricació. Possiblement si en altres temps es podia permetre considerar els materials residuals com residus o productes finals de carrera, actualment

s'ha de fer un esforç en dissenyar els processos a fi d'obtenir uns productes secundaris que en altres indústries puguin utilitzar com a subproductes. D'aquesta manera es considera molt positiva la utilització dels subproductes següents:

5.3.6.1. Materials detrítics

Moltes terreres són el resultat de l'excavació dirigida a extreure un mineral determinat, però en l'excavació per arribar fins al mineral en si s'ha hagut d'arrencar una gran quantitat de roca encaixant que es deixa al costat de l'exploració. D'aquesta manera es troben grans quantitats de roques esmicolades i amuntegades de naturalesa silícica o calcària, que moltes vegades podrien ésser aprofitades com a àrids en la construcció, per exemple. Es dona el cas justament que aquests materials són els que requereixen volums importants i per tant s'extreuen expressament en grans pedreres amb el consegüent cost econòmic i impacte ambiental. En poden ser exemples els següents casos d'aprofitament:

- Àrids de les terreres de galena de les mines del Priorat, per a la utilització de subbases en la construcció. Es tindrà en compte de no utilitzar-les per a àrids en formigons per la presència de pirita.
- Balastre de les terreres de granodiorites provinents de l'extracció de galena de la mina Berta, a la Serralada Litoral, ja esgotades, i actualment s'està excavant en roca viva; tot plegat pot contribuir al condicionament de les vies fèrries per al ferrocarril.
- Àrids i balastre provinents de les mines de calcopirita d'Ortsavinyà, al Maresme, en forma de blocs de calcàries i de granit. S'ha de considerar que moltes d'aquestes terreres són anteriors a 1930 i ja estan revegetades de manera natural.

- Balastre i subbases de roques ígnies de les grans terreres de les mines del Cierzo (Vilallé), a la Vall d'Aran, en la qual s'extreien galenes argentíferes.
- Pols dels àrids a les plantes de conglomerats asfàltics, les quals són extretes a fi de no gastar tant betum, i es poden aprofitar per aconseguir més equilibri de les textures en les plantes de formigó.

Concretament pel que fa a residus de textura fina de les empreses extractives d'àrids i d'altres en greus problemes de pols, s'ha de considerar que produeixen impactes atmosfèrics per les emissions de partícules fines que envaeixen l'entorn tant interior com exterior. Aquests residus permeten obtenir productes vendibles, sempre que sigui factible recuperar-los i s'hagi efectuat una planificació de l'explotació. En són exemples: additius, càrregues, esmenes adàptiques, aglomerats, etc.

5.3.6.2. Reaprofitament de terreres a partir de noves tecnologies

Altres vegades s'aconsegueixen nous subproductes amb la introducció de noves tecnologies, sigui el mateix mineral que abans es va deixar per problemes tècnics, sigui l'aprofitament d'altres minerals, com el germani, gal·li i indi provinents de residus de les pirites, que fa uns quants anys no tenien gaire utilitat i en canvi ara tenen un sortida innovadora com a matèries bàsiques per a la informàtica. Un altre exemple d'aquest darrer punt de vista és el reaprofitament dels fangs de mines de Cuba, en què, després de l'extracció del níquel de les laterites, els japonesos extreuen cobalt, crom, platí i altres elements refractaris que en un principi no s'extreien.

En el nostre entorn pròxim hi ha una experiència molt positiva pel que fa a la utilització dels subproductes de la

potassa, ja que la terrera nova o última de les mines de Cardona és a punt de desaparèixer a causa de la reutilització dels seus materials emmagatzemats.

Concretament pel que fa a les mines de potassa de la conca potàssica catalana, s'està reutilitzant la mateixa quantitat de subproductes que de mineral. Aquests subproductes es poden dividir en:

- *Sal industrial*. Provenent de l'estèril i del rebuig de flotació en el procés de separació del clorur potàssic, rica en clorur sòdic, argiles i guix, i amb restes de potassa. Es destina a adobs, salmorres, etc.
- *Sal flotada*. La dissolució obtinguda en la flotació es torna a reflotar, amb la qual cosa s'aconsegueix una alta concentració i selecció. Es destina a l'electroquímica i PVC (clorur de polivinil).
- *Salmorra*. Són aigües saturades de clorurs en general. Serveix per a adobs i indústries químiques.
- *Sal gemma*. És la sal de mur, o sigui clorur sòdic, provinent de l'excavació de galeries d'accés per arribar a les zones d'extracció de potassa. Es destina per a desgel en carreteres, per a bescanvi iònic en columnes de resines per a correcció de la calç en aigües dures per a empreses que necessiten vapor d'aigua, i també s'utilitza en poca quantitat per a cosmètics.
- *Fudent*. Sals sense cap tractament, tal com surten de la mina. S'utilitzen en poca quantitat com a fudent.
- *Clorur potàssic pur*. En poques quantitats, per a la indústria farmacèutica, com per exemple en les pastilles de clorur potàssic per al mal de coll.

5.3.6.3. Noves aplicacions de minerals

Moltes vegades, el resultat de l'aprofitament de subproductes es basa en la imaginació o investigació de noves aplicacions dels minerals. En són exemples:

- L'aplicació de la baritina per a quilles de vaixells, per l'elevat pes específic del bari i la no contaminació en comparació amb el plom.
- La utilització d'hematites, argiles i òxids de ferro per a pintallavis en països subdesenvolupats, que potser es podrien readaptar en altres països en què es valoren els productes ecològics.
- L'experiència de cremar, en llit fluid a La Perera (Astúries), carbó amb un contingut de sofre conjuntament amb residus de fusta i estèrils del rentatge del carbó, amb el resultat d'absorbir una part del SO_2 amb les mateixes calcàries de l'estèril.
- Inertització per ceramització de residus miners i industrials, i obtenció de nous productes que no deixin lixiviats i a la vegada puguin tenir un nou ús. En poden ésser exemples la possibilitat de canviar la utilització de perdigons de plom en el tir al plat per perdigons ceràmics de baritina i residus industrials. També es pot estudiar la formació de nous àrids mitjançant la inertització de residus amb productes de terreres abandonades.
- La reutilització de fangs del fons dels embassaments com a esmenes i adobs per als camps de conreu. Realment representa que es tornarien al camp les partícules fines i elements nutritius que l'erosió, mitjançant el transport per l'aigua, ha anat acumulant al fons dels embassaments, fet que repercutiria negativament en la pèrdua de fertilitat

i en el rebliment i tapament dels aquífers lligats a aquestes reserves d'aigua.

5.3.7. Gestió i aprofitament més acurada de l'aigua

Un cas especial i de molta importància econòmica i ambiental, com ja s'ha esmentat en el punt 4.2, és el que concerneix a la reutilització de l'aigua, que no deixa de ser un recurs líquid miner, encara que aquest sigui normalment renovable. D'aquesta manera, a més de desenvolupar captacions subterrànies a manera d'embassaments naturals subterranis (amb una millor qualitat, més difícil de ser contaminats i a la vegada amb una distribució molt més simple que els embassaments superficials sempre que hi hagi aquífers importants), també es creu molt interessant insistir en l'aprofitament de les aigües de pluja recollides en petits embassaments que es poden convertir en basses paisatgístiques i de reserves per a incendis forestals, i també aquelles provinents de les depuradores, que es podran fer servir per al rec agrícola, o com a element de neteja i en fonts ornamentals dintre dels nuclis urbans a través d'una doble xarxa de distribució.

De manera singular es podrien aprofitar les aigües naturals de la formació salina, per exemple de Cardona, sigui per a la indústria que necessita salmorres, sigui per a la societat d'oci a manera de banys terapèutics d'un futur balneari.

5.3.8. Aprofitament d'espais miners

Aquesta filosofia de l'aprofitament haurà d'arribar fins i tot a la reutilització màxima dels espais miners, que a part de ser dipòsits que no ocupen lloc en la superfície, el seu reompli-

ment, a més, evita o minora la subsidència de la superfície. En són possibles exemples:

- Dipòsits dels mateixos subproductes miners.
- Dipòsits de residus especials o d'altres en general.
- Dipòsits de materials provinents d'enderrocs.
- Aprofitament de cavitats estanques, com ho són les formacions salines, com a dipòsits reguladors de gas o altres.
- Camps subterranis per a conreus de xampinyons.
- Dipòsit d'emmagatzematge en general, etc.

5.3.9. «Terreres i abocadors d'avui, mines del demà»

En un futur pròxim s'han de dissenyar els espais de les explotacions mineres i de les seves respectives terreres, o fins i tot els dipòsits de residus en general, de manera que sigui fàcil i còmode la reutilització d'aquests materials i espais (vegeu la figura 1). Els espais miners, moltes vegades no costaria gaire dissenyar-los i dimensionar-los de manera que permetessin un emmagatzematge raonable, tant pel que fa a les dimensions i distribució dels buits, com pels seus accessos. També, i encara menys costós, seria bo adequar ordenadament les terreres i dipòsits de residus en general que s'estan dissenyant, per a una fàcil extracció dels materials dipositats, a fi que arribi un dia en què les tecnologies permetin considerar els actuals residus en subproductes del futur.

6. CONCLUSIÓ

Si per exemple observem una casa o una aula, veiem que el terra està compost per àrids i ciment per donar-hi consistència i

durabilitat, que les parets i el sostre estan recoberts de guix que en regula la humitat, els murs i parets estan fets d'argila, l'estructura és de formigó armat, o sigui àrids i ciment majoritàriament provinent de la calcària, acer, o sigui, ferro provinent de l'hematites probablement. Els vidres de les finestres són de sorra silícica; els radiadors, també de ferro colat; les persianes, d'alumini, els plàstics provenen del petroli... Fins i tot la roba es renta amb detergents que contenen una elevada proporció de sulfat sòdic, fosfats, zeolites... De fet, també els aliments dels camps actuals provenen d'unes collites continuades i considerables, gràcies a minerals de fosfats i potasses, els quals no tenen alternatives, com és el cas dels derivats del petroli per als automòbils. Gairebé tot gira sobre la mineria, el primer esglaió material de la civilització.

Les societats desenvolupades es caracteritzen, entre altres, per la disponibilitat que tenen les persones de la quantitat i qualitat d'obres i serveis, els quals tenen un factor comú en les matèries primeres, provinents la majoria de la mineria en general. Segons com sigui aquesta mineria s'hipotecarà o no la continuació dels aprofitaments geològics per al demà.

Els residus miners són uns dels impactes que van lligats a l'aprofitament dels minerals. Malgrat això, hi ha processos i dissenys que poden reduir l'impacte dels residus. Encara més, en un futur pròxim i dependent de la investigació, de l'esforç econòmic i de la sensibilització en general, podrà existir una mineria més respectuosa amb l'entorn.

7. BIBLIOGRAFIA

ARNOULD, M. (1984). *Bases théoriques de l'interaction de l'homme et de l'environnement géologique*. 27th International Geological Congress. P. 1-19.

- CARRERA, J.; FONT, J.; MATA, J. M. (1998). *Mineria i medi ambient*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT (1997). *La restauració ambiental de les activitats extractives a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. (Quaderns de Medi Ambient; 6)
- (2000). *La campanya de la Carta de la Terra*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient.
- DEPARTAMENT DE POLÍTICA TERRITORIAL I OBRES PÚBLIQUES (1987). *Recomanacions tècniques per a la restauració i condicionament dels espais afectats per activitats extractives*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- FELL, R.; MILLER, S. I.; AMBROSIS, L. (1993). «Geotechnical management of waste and contamination». A: FELL; PHILLIPS; GERRARD [ed.]. *Seepage and contamination from mine waste*. Rotterdam: Balkema.
- FULLANA, P.; PUIG, R. (1997). *Anàlisis ciclo de vida*. Barcelona: Rubes. (Cuadernos de Medio Ambiente)
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1989). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. Madrid: MOPU.
- UNITED NATIONS DEPARTMENT OF DEVELOPMENT SUPPORT AND MANAGEMENT SERVICES I UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (1994, juny). *Environmental guidelines for mining operations*. Nova York: UNDDSMS: UNEP.
- (1994). *Environmental management of mine sites*. Nova York: UNDDSMS: UNEP Technical Report, núm. 30.
- UNITED NATIONS REVOLVING FUNDATION FOR NATURAL RESOURCES EXPLORATION. [s. a.] *Environmental protection guidelines*. UNRFNRE.
- U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF LAND MANAGEMENT (1992). *Solid minerals reclamation handbook, non-*

coal leasable minerals, locatable minerals, saleable minerals. BLM Handbook H-3042-1.

VICK, S. G. (1993). *Planning, design and analysis of tailings dams.* Wiley.

