

Institvt

La terra i el medi

d'Estvdis

PUBLICACIONS

DE LA

PRESIDÈNCIA

17 / 2004

Cicle de conferències

Catalans

**PUBLICACIONS
DE LA
PRESIDÈNCIA
17 / 2005**



La terra i el medi

PUBLICACIONS

DE LA

PRESIDÈNCIA

17 / 2005

Cicle de conferències

La **Terra** i el medi : cicle de conferències. —

(Publicacions de la Presidència ; 17)

Bibliografia

ISBN 84-7283-783-1

I. Institut d'Estudis Catalans


II. Col·lecció: Publicacions de la Presidència ; 17

1. Ciències ambientals — Investigació — Catalunya — Congressos

2. Ciències de la terra — Investigació — Catalunya — Congressos

3. Ecologia humana — Investigació — Catalunya — Congressos

504(467.1)(061.3)

Amb la col·laboració de  **FUNDACIÓ**
Caixa Sabadell
pel compromís social

Disseny gràfic: Enric Satué

4

© dels autors de les conferències

© 2005, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: febrer de 2005

Tiratge: 450 exemplars

Text revisat lingüísticament per l'Oficina de Correcció i Assessorament Lingüístics de l'IEC

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Impress a Limpergraf, SL

ISBN: 84-7283-783-1

Dipòsit Legal: B. 8751-2005

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o d'Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

ÍNDEX

Presentació,
a càrrec de Josep Enric Llebot,
secretari científic de l'Institut d'Estudis Catalans
9

Institució Catalana d'Estudis Agraris

Ús del sòl i sostenibilitat agrària

Els sòls de Catalunya: un recurs natural limitat,
a càrrec de Maria Teresa Felipó,
de la Universitat de Barcelona
13

Societat Catalana de Física

Els riscos naturals: mètodes d'estudi i prevenció
a càrrec d'Antoni Roca,
de l'Institut Cartogràfic de Catalunya
37

Societat Catalana de Química

La química: un lligam indefugible entre la terra i el medi

Els compostos orgànics persistents en el medi. El repte
d'una acció global,
a càrrec de Joan Albaigès,
del Consell Superior d'Investigacions Científiques
63

Química ecològica. La química de les interaccions
entre els éssers vius,
a càrrec de Magí Riba,
de la Universitat de Lleida
87

**Societat Catalana d'Història de la Ciència
i de la Tècnica**

Les terres de l'interior en la cartografia de Mallorca
i Barcelona,
a càrrec de Mercè Comes,
de la Universitat de Barcelona
113

6

Societat Catalana de Geografia

Resposta dels sòls a l'abandonament de la muntanya:
el Pirineu català,
a càrrec de Joan Manuel Soriano i David Molina,
de la Universitat Autònoma de Barcelona
139

Societat Catalana d'Economia

Impacte del turisme sobre el territori,
a càrrec de Modest Fluvià,
de la Universitat de Girona
175

Societat Catalana de Tecnologia***Contaminació industrial i minera***

Valoració de residus sòlids industrials,
a càrrec de Lluís Puigjaner,
de la Universitat Politècnica de Catalunya
201

La mineria: impacte i restauració dels sòls,
a càrrec de Josep Font,
de la Univeristat Politècnica de Catalunya
225

Institució Catalana d'Història Natural

Les crescudes fluvials i la gestió sostenible del territori,
a càrrec de Jordi Corominas,
de la Universitat Politècnica de Catalunya
261

Societat Catalana de Biologia

Els microorganismes com a biopesticides i biofertilitzants
en agricultura,
a càrrec d'Emili Montesinos,
de l'Institut de Tecnologia Agroalimentària
de la Universitat de Girona
287



LA TERRA I EL MEDI

PRESENTACIÓ,

A CÀRREC DE

JOSEP ENRIC LLEBOT,

SECRETARI CIENTÍFIC

DE L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

L'aire, l'aigua, el foc i la terra són els quatre elements fonamentals que des de l'albor de la civilització, i durant pràcticament tota la seva història, han suposat l'entorn ambiental i energètic més important per a la vida. És molt il·lustratiu constatar com, amb el pas del temps i amb l'evolució civilitzadora, l'estudi i el coneixement sobre aquests quatre elements bàsics per a la vida ha canviat substancialment poc. Comparim, doncs, amb els nostres antecessors preocupacions similars i conflictes semblants, tot i que expressats en contextos necessàriament ben diferents. D'una manera simplificadora, però no exempta de sentit, podríem dir que la possessió del sòl i la lluita per l'ús i control del territori, dels abastaments hídrics i, més recentment, dels recursos energètics, expliquen bona part del desenvolupament de les societats i dels conflictes i lluites actuals i dels nostres avantpassats. Una de les qüestions fonamentals que permet explicar l'evolució del coneixement i dels conflictes respecte de l'aigua, la terra i el foc és que estan sotmesos a drets de propietat. En canvi, sembla que l'aire encara és de tothom o no és de ningú, la qual cosa li configura un entorn de gestió i coneixement molt diferent del dels altres elements. Un altre aspecte que cal considerar, finalment, és la capacitat d'incidència civilitzadora sobre els quatre elements. Fins fa poc més de dos-cents anys, la humanitat no tenia capacitat d'incidir sobre el medi més que a escala local. Ara, en canvi, ho fa a escala local i global. La consciència d'aquest paper transformador de la societat moderna, fa uns quaranta anys que s'ha fet palesa explícitament. El paradigma, el llibre de Rachel Carson sobre els efectes de l'ús del DDT, *La primavera silenciosa*, publicat l'any 1962. També a casa nostra hi ha exemples d'escriptors i intel·lectuals que fa temps que han pensat i escrit sobre el paper transformador de la societat moderna. Com a exemple, en un dels escrits d'aquest volum hi ha la citació molt adequada d'*Un senyor de Terra de Foc*, d'en Josep Pla, obra publicada l'any

1960, on l'escriptor de l'Empordà escriu «... sobre la creixent destrucció que practica l'home sense preocupar-se de les futures generacions...». Aquesta responsabilitat intergeneracional sobre el medi ambient ha estat argument utilitzat i debatut per nombrosos pensadors quan han reflexionat sobre els problemes ambientals amb què ens enfrontem a l'inici del segle XXI. Sense abandonar aquesta idea, més encara, incorporant-la i donant-li un marc més ampli, el concepte de *sostenibilitat ambiental* i *social* configura avui l'entorn conceptual de l'anàlisi del coneixement i gestió dels quatre elements: l'aigua, la terra, l'aire i el foc. Per tal de debatre l'estat del coneixement, les idees i els problemes en aquest context, l'Institut d'Estudis Catalans va organitzar l'any 2001 un cicle de conferències sobre l'aigua i el 2002 un cicle sobre la terra, del qual el volum que el lector té a les mans inclou les ponències presentades.

Les ciències ambientals, les ciències naturals i humanes que dediquen el focus del seu estudi a la biosfera i a les seves transformacions i pertorbacions, especialment degudes a l'activitat humana, són disciplines que s'han desenvolupat al voltant de l'anàlisi i el comportament d'aquests quatre elements. La ciència i la tecnologia avui tenen capacitat d'aprofundir en aspectes extraordinàriament específics del coneixement del sòl, les seves característiques, problemes, capacitats i ús. Però també, la ciència d'aquest tombant de segle intenta aprofundir en el coneixement del sòl d'una manera global, ja que, com cada vegada es diu més en molts entorns, el tot no és estrictament la suma de les parts, sinó que hi ha quelcom més. Amb aquest esperit, l'Institut d'Estudis Catalans ha organitzat també el cicle. Ha comptat amb una bona part de les seves societats científiques, les quals, amb l'esperit del coneixement d'una part, han intentat aportar elements per obtenir una visió del coneixement del tot.

Mitjançant les societats científiques, l'IEC pretén dur

a terme un dels seus objectius estatutaris: la difusió de la ciència. Enguany, com ja s'ha dit, el volum que aquestes línies volen introduir recull l'intent de proporcionar un enfocament global sobre la terra a partir de la visió temàtica i especialitzada de nou societats de l'Institut: la Institució Catalana d'Estudis Agraris, la Institució Catalana d'Història Natural, la Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, la Societat Catalana d'Economia, la Societat Catalana de Biologia, la Societat Catalana de Física, la Societat Catalana de Geografia, la Societat Catalana de Química i la Societat Catalana de Tecnologia. Aquestes societats han ofert durant diferents dies dels mesos de setembre i octubre de 2002, un cicle de conferències sobre aspectes tan diversos sobre la terra com els usos del sòl i sostenibilitat, la gestió del sòl i els riscos naturals, la química i la contaminació industrial i minera, l'impacte del turisme sobre el territori, la representació del rerepaís o l'ús de microorganismes en agricultura. L'obtenció de visions completes i globals necessita reflexió i coneixement. Aquest volum pretén contribuir tant a la reflexió com al coneixement dels principals aspectes de la gestió del sòl a casa nostra. La visió integradora del lector, de ben segur, hi farà la part que resta.

**INSTITUCIÓ CATALANA
D'ESTUDIS AGRARIS**

ÚS DEL SÒL

I SOSTENIBILITAT AGRÀRIA

ELS SÒLS DE CATALUNYA:

UN RECURS NATURAL LIMITAT,

A CÀRREC DE

MARIA TERESA FELIPÓ,

DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

Hom acostuma a definir el sòl com la capa superior de l'escorça de la Terra, que comprèn des de la superfície terrestre fins al material litològic subjacent que l'ha originat. L'espai que ocupen els sòls (l'edafosfera) és la interfase dinàmica entre el material geològic (la litosfera), l'aire (l'atmosfera) i l'aigua (la hidrosfera), i naturalment, és l'hàbitat dels organismes terrestres (la biosfera).

A diferència dels altres components naturals que conformen l'ambient, l'aigua i l'aire, el sòl és un medi heterogeni i complex, que es forma i es regenera molt lentament, i en general està subjecte a drets de propietat.

El sòl, sistema organitzat, està format per una matriu sòlida porosa, constituïda essencialment per minerals, i una petita part de matèria orgànica que va decreixent en augmentar la profunditat, on coexisteixen l'aigua, l'aire i els organismes del sòl. Els diversos constituents interaccionen mútuament mitjançant processos de naturalesa física, química i biològica; sens dubte, aquesta destresa habilita el sòl per a transformar i recombinar tant els materials que el conformen com els que li arriben de l'exterior. Tanmateix, el sòl, sistema obert, és capaç d'incorporar i dissipar la matèria i l'energia, de manera que es comporta com un reactor.

En contemplar el territori, però, sovint se'ns fa difícil veure els sòls, perquè es troben coberts per vegetació o edificacions i d'altres elements o serveis que configuren qualsevol paisatge, rural o urbà. En observar-los, hom s'adona que estan integrats per una superposició de successives i diferents capes horitzontals, anomenades horitzons, que fan del sòl un medi tridimensional. Cada horitzó gaudeix, doncs, d'uns atributs determinats, és a dir, els components, les propietats i les característiques li són pròpies. Per tant, per a conèixer el

comportament d'un sòl cal disposar d'informació de tots els horitzons que l'integren.

El sòl està en equilibri dinàmic amb l'entorn que l'envolta, per això evoluciona amb el decurs del temps (t) d'acord amb les condicions dels factors ambientals que participen en la seva formació: el material originari (m), el clima (cl), la geomorfologia (r) i els organismes (o) que el colonitzen. Jenny (1941) va formalitzar l'equació d'estat del sòl (s) de la manera següent: $s = f(cl, o, r, m, t)$ i va modificar-la (Amundson i Jenny, 1991) en reconèixer que la incorporació en un ecosistema de l'espècie humana i la seva herència cultural introdueixen canvis importants, que també afecten el sòl. Així, doncs, convé tractar la intervenció humana com un factor més i, per tant, independent de la resta d'éssers vius.

La població humana començà a mostrar interès pel sòl en adonar-se que en treballar-lo podia produir aliments, i l'augmentà quan descobrí que era font de matèries primeres i capaç de suportar edificacions o d'altres obres d'enginyeria civil; tanmateix, des de sempre l'ha emprat per a desfer-se dels residus, encara que darrerament d'una manera abusiva i incontrolada. Així, doncs, els humans, amb la finalitat de satisfer les necessitats pròpies, han tingut sovint una actuació depredadora envers el sòl, menyspreant les nombroses funcions que porta a terme. Les funcions poden deduir-se, fàcilment, en interpretar la finalitat esperada de cadascun dels distints usos que hom li assigna.

És comprensible que el sòl no tingui per tant el mateix significat per als agricultors que per als geòlegs, els enginyers, els ecòlegs, els economistes, els que planifiquen l'ocupació del territori o els ambientalistes. Aquest fet, entre altres raons, és la causa de la seva múltiple conceptualització. A més, la concepció del sòl ha anat evolucionant, modificant-se d'acord amb els coneixements que li han proporcionat els avenços dels estudiosos de l'edafologia, tal com s'anomena en

el nostre àmbit la ciència del sòl, cos de coneixements amb entitat pròpia des de finals del segle XIX, puntal per al desenvolupament de l'agricultura, i des dels orígens estretament relacionada amb moltes altres ciències.

Aquesta munió de situacions han afavorit la manca d'apreciació dels humans envers aquest component de l'ambient. En ser quelcom tan comú, hom tendeix a no prestar-hi cap atenció, oblidant, fins i tot, que la vida no existiria sense ell.

El sòl, a més de sostenir la vida i els ecosistemes terrestres, és capaç de suportar totes les activitats humanes. Aquest enorme potencial fa que sigui un recurs natural extraordinari, perquè desenvolupa funcions ecològiques, socioeconòmiques i culturals molt diverses (Blum, 1998; EEA, 1998; Alcañiz *et al.*, 2002; CCE, 2002) que poden sintetitzar-se de la manera següent:

- *Producció de biomassa*: les arrels dels vegetals no tenen dificultat per a endinsar-se en un medi porós, aferrant-s'hi i fent-lo servir de suport, altrament també els subministra nutrients, aire i aigua, elements indispensables per a la producció vegetal, font d'aliments, de fibres i de combustibles.
- *Filtra, emmagatzema i transforma*: alguna etapa de la majoria dels cicles biogeoquímics —dels elements, de la matèria orgànica o de l'aigua— rau en el sòl. El sòl té capacitat per a filtrar, emmagatzemar i transformar substàncies perilloses (orgàniques, inorgàniques o radioactives) o organismes patògens (pels vegetals, animals i humans); això impedeix la transferència dels contaminants a les aigües subterrànies, a l'atmosfera o a la cadena alimentària.
- *Reserva genètica i habitat*: permet l'existència de nombroses formes de vida animal i vegetal que únicament poden desenvolupar-se en el sòl.

- *Suport per a la construcció d'assentaments humans i d'infraestructures*: és la base per a la construcció d'habitatges, d'indústries, d'espais recreatius i d'infraestructures, com ara les vies de transport, els pantans o els dipòsits per a residus.
- *Font de matèries primeres*: proveeix de recursos naturals: aigua, argiles, sorra, graves, torba i diferents minerals; tanmateix, l'acumulació pretèrita d'enormes quantitats de restes orgàniques ha permès disposar de combustibles fòssils.
- *Protegeix i preserva l'herència cultural i l'estètica del paisatge*: proporciona recursos paleontològics i arqueològics que contenen les empremtes del passat, essencials per a poder comprendre l'evolució de la Terra i de la humanitat, i aporta elements estètics al paisatge.

En els sòls naturals, els seus atributs —les característiques i les propietats—, fruit del seu origen i composició, són els qui l'habiliten per a desenvolupar unes determinades funcions, i aquestes els confereixen l'aptitud per a un o diversos usos. Quan els sòls han estat antropitzats, cal considerar també els antecedents associats al seu maneig. La normativa vigent sobre règim del sòl i valoracions, però, els diferencia únicament en «urbà», «urbanitzable» i «no urbà», valorant-los al marge dels seus atributs.

El concepte de qualitat aplicat al sòl equival a parlar del nivell d'idoneïtat que té per a un ús específic o diversos usos. La qualitat és més bona a mesura que augmenta el nombre dels usos possibles a què pot dedicar-se. Aquesta es pot avaluar en comparar els atributs d'un sòl amb els requeriments necessaris per a un ús concret o diferents usos alternatius. Per tal de protegir els sòls de més vàlua i no errar en planificar un canvi d'ús, s'han desenvolupat metodologies

d'avaluació, amb finalitats molt diverses, com ara: per a instaurar un conreu específic, per a planificar la transformació de secà a regadiu, per a construir un traçat viari o per a emplaçar un dipòsit de residus, etc. Aquestes eines, però, malauradament són poc utilitzades perquè, avui i a casa nostra, són les necessitats de sòl i les forces de mercat els factors que hi donen un valor i li assignen l'ús.

És evident que no tots els sòls tenen les mateixes aptituds per a qualsevol ús, ni tampoc el mateix grau de resistència davant les pressions —usos i agressions— a què són sotmesos. Un sòl pot arribar a tenir un valor incalculable en ser apte per a diferents usos, però el perdrà en cas de degradar-se, totalment o parcialment, i molt probablement caldrà fer una actuació, no exempta d'inversió, abans que pugui tornar a ser apte per a l'ús. Per tal d'assegurar l'ús sostenible del sòl —entès com aquell ús que no ultrapassa la capacitat de renovació i que, per tant, li permet mantenir les funcions—, cal planificar l'ús d'acord amb les seves capacitats, és a dir, no utilitzar-lo per sobre d'aquell llindar que pugui ocasionar-li un estat de degradació difícilment reversible, que n'impossibilitaria la posterior recuperació o, anant bé, en restringiria els possibles usos.

La resiliència del sòl, definida com la capacitat per a recuperar-se després d'una pertorbació, fa evident que cal conèixer la intensitat d'ús tolerable dels sòls per tal que llur utilització no impedeixi mantenir la capacitat de recuperació (De Kimpe i Warkenting, 1998).

El cúmul de circumstàncies associades a la formació, la multifuncionalitat i la pluralitat d'usos, no protegeixen el sòl *ad infinitum*, perquè aquest recurs és fràgil i fàcilment vulnerable a les pressions a què és sotmès, i ho és més encara quan s'ultrapassa la capacitat de recuperació. Les pressions són, en general, fruit de l'ús continuat, del mal ús o fins i tot dels canvis d'ús.

Es requereix molt temps tant per a formar un sòl com per a aconseguir que es regeneri de manera natural quan ha estat malmès. Així, la natura necessita entre cent i tres-cents anys per a formar-ne uns dos centímetres. El sòl té capacitat per a tolerar o esmorteir agressions, però qualsevol actuació que comprometi, a mitjà o llarg termini, la seva qualitat, també n'hipotecarà l'ús posterior, perquè s'hauran reduït o anul·lat les funcions originals. Això és el que succeeix en l'ocupació urbanística del territori, que l'inutilitza per a qualsevol altre ús, de manera que la recuperació és pràcticament irreversible.

El sòl és un recurs natural no renovable a curt termini, és a dir, finit a escala humana, i limitat, perquè és un bé escàs, ja que la superfície del territori disponible és la que és. Per tant, a fi i efecte d'assegurar un ús sostenible, caldria evitar que sigui l'economia de mercat l'única que ho decideixi, i orientar la gestió d'acord amb l'aptitud i la capacitat de recuperació de cadascun, és a dir, emprant aquells sistemes tecnològics que incorporin principis ecològics i socioeconòmics.

19

ELS USOS I LA DEGRADACIÓ DEL SÒL A CATALUNYA

Els factors ambientals, que han condicionat la formació dels sòls de Catalunya en el decurs del temps, han gaudit d'un ampli marge de variabilitat; això ha permès la formació i el desenvolupament d'una gran diversitat de sòls o edafodiversitat, d'acord amb la terminologia actual.

La variada orografia que té Catalunya ha estat el principal factor que ha condicionat l'ocupació del territori i ha determinat els usos del sòl. Les actuacions humanes han transformat el paisatge des de temps remots i arreu es troben vestigis de la seva utilització secular.

És àmpliament reconegut el fet que per a poder planificar correctament la gestió dels sòls cal disposar del seu

inventari, i molt millor quan la informació és assequible a diferents escales. Malauradament, però, avui encara hi ha a l'abast molt poca informació dels sòls de Catalunya. Ateses les característiques pròpies del país —extensió i pluralitat d'ambients, intensitat i diversitat d'usos del sòl, nivell de desenvolupament tecnològic i socioeconòmic, i qualitat ambiental esperada—, les escales més útils són les compreses entre 1:25.000 i 1:50.000 (Alcañiz *et al.*, 2002).

A escala detallada, 1:25.000, la principal font de referència és la base de dades del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP), que va néixer per a millorar la gestió de l'aigua en les zones de regadiu i en el futur constituirà el *Mapa de sòls de Catalunya*. Fins al moment, però, s'ha cartografiat únicament al voltant d'un 10% de la superfície del territori i tan sols s'han publicat els sòls del terme de Bellví (Herrero *et al.*, 1993). Sortosament, aquesta base de dades, que és més ampla, es podrà consultar pròximament per Internet (DARP, 2001).

En el moment actual encara no es disposa d'una base de dades 1:250.000, similar a la del Mapa geològic de Catalunya, publicat pel Servei Geològic de Catalunya en 1989, que seria d'una gran utilitat. La síntesi de la distribució dels sòls del país segons els criteris de la FAO-UESCO a petita escala, 1:1.000.000, la mostren: el *Mapa de sòls d'Europa*, publicat per la CCE en 1984, i la base de dades de la UE, de l'European Soil Bureau, elaborada a partir de l'anterior; la seva utilitat, però, a escala regional o local és mínima. La descripció d'aquesta informació sobre els sòls de Catalunya ha estat recollida essencialment per Serrat i Porta (1985) i actualitzada per Alcañiz *et al.* (2002).

Durant els darrers quinze anys, l'Institut Cartogràfic de Catalunya ha cartografiat també el *Mapa d'usos del sòl de Catalunya* (en 1987 i 1997) i el *Mapa de cobertes del sòl*, endegat en 1993 pel Centre de Recerca Ecològica i Aplica-

cions Forestals, que actualment està en curs d'execució. Aquestes eines mostren que la superfície de Catalunya és ocupada per usos molt diversos, i han permès determinar l'extensió dels principals usos del sòl, indicats de manera abreujada en la taula 1, segons dades de 1997.

L'ocupació forestal, prop del 60% del total del territori, es troba allà on el relleu i les condicions climàtiques han dificultat el conreu, localitzada essencialment a les zones de muntanya, però també s'ha anat estenent allà on no ha estat possible conrear, bé perquè el pendent o la pedregositat són excessius, o el gruix del sòl, escàs, o bé per una composició del terreny desfavorable. Tanmateix, les formacions arbòries han anat envaint, a mesura que anaven essent abandonades, feixes d'antics camps de conreu o de vinyes. Segons Peix (2001), cap a un 80% dels terrenys forestals són actualment de propietat privada.

21

TAULA 1. *Ocupació de la superfície i principals usos del sòl a Catalunya (1997)*

Ocupació territori	Ús del sòl	Superfície	
		ha	%
Forestal	Bosc	982.749	30,65
	Prats i bosquines	906.736	28,28
Agrícola	Conreus herbacis de secà	482.715	15,05
	Conreus de regadiu	261.733	8,16
	Fruïters de secà i vinya	306.102	9,55
Urbanitzat	Urbanitzada	118.377	3,69
	Infraestructures viàries	24.370	0,76
	Àrees nues o cremades	104.998	3,27
Aigües continentals	Rius, llacs i neu	14.985	0,47
	Aiguamolls, sorrals i platges	7.777	0,24
Total		3.210.540	100

Font: Alcañiz *et al.* (2002)

Els sòls agrícoles, de gran importància al país, ocupen una extensió de prop del 33%. Peix (2001) estableix l'ocupa-

ció per conreus i tipifica l'espai agrari en quatre zones: la consolidada, la periurbana, la mediterrània de secà i la pirinenca, posant de manifest les peculiaritats de cadascuna. Del total agrari, segons dades de 1997, al voltant d'un 60 % correspon a conreus herbacis i un 40 % a llenyosos, essent un 30 % de regadiu i un 70 % de secà. Els millors sòls agrícoles es troben a les planes al·luvials, als deltes dels principals rius i a les depressions de l'interior.

Un 4,5 % del total de la superfície, en 1997, es comptabilitzà com a urbanitzada, encara que amb tota seguretat és superior, ja que tant la perifèria de les zones urbanitzades —periurbanes— com el contorn de les infraestructures viàries també reben l'impacte de la urbanització. L'ús estrictament urbà, prop d'un 4 %, es concentra fonamentalment al voltant de Barcelona i al llarg de la zona costanera. La xarxa viària que fracciona el territori, més densa a les zones urbanitzades, ocupa quasi bé un 1 % del territori, amb tendència a créixer.

Durant el període comprès entre 1987 i 1997 es van produir els següents canvis d'ús, que segons dades elaborades per Alcañiz *et al.* (2002) i expressades percentualment representen: per una banda, un augment de la superfície urbanitzada (1,18 %), de l'ocupada per infraestructures viàries (0,54 %) i dels boscos (0,52 %); i per l'altra, una reducció de la superfície agrícola de fruiters de secà i vinya (1,14 %), dels prats i bosquines (0,13 %), i de les àrees nues o cremades (0,58 %).

La degradació del sòl, responsable de la pèrdua de la capacitat d'aquest recurs per a realitzar les funcions que li són pròpies, acostuma a tenir greus repercussions ambientals, socials i econòmiques. Fins al moment, s'ha identificat un considerable nombre de processos (vegeu la taula 2, primera columna) com a responsables de la degradació amb origen, forma d'actuació i efectes diversos. Les activitats humanes en

són la causa principal, però, hi ha processos que es produeixen també de manera natural, com ara l'erosió, la salinització o l'acidificació. Tanmateix, sovint diferents processos interaccionen mútuament; llavors és pràcticament impossible diferenciar-los i es fa impracticable estudiar-los conjuntament.

La desertificació, la degradació que pateixen els sòls fonamentalment de zones àrides per l'acció conjunta de factors climàtics extrems i d'una utilització intensiva del territori (CCE, 2002), correspon a l'estadi final de degradació, i en aquesta situació el sòl deixa de ser apte per a sustentar la vida vegetal.

La conscienciació de la comunitat internacional envers la problemàtica que genera la degradació del sòl ha fet sorgir diverses iniciatives internacionals per a instaurar mesures globals per a combatre-la. La primera l'establí el Consell d'Europa en 1972, en la Carta del Sòl, que convocava els estats per aplicar una política de conservació del sòl. Posteriorment en 1982 l'Organització per a l'Alimentació i l'Agricultura (FAO) elaborà la Carta Mundial del Sòl, i el Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA) la política mundial del sòl, ambdues persegueixen el foment de la cooperació internacional per a un ús racional del recurs sòl. Actualment diferents països industrialitzats han endegat iniciatives per a protegir el sòl amb relació als processos de degradació prioritàris de cadascun.

La Comissió de les Comunitats Europees ha aprovat el document «Cap a una estratègia temàtica per a la protecció del sòl» (CCE, 2002), on es fa palès que més d'un 16 % del territori de la comunitat està afectat actualment per algun tipus de degradació, i on es reconeixen les principals amenaces per als sòls en aquest àmbit territorial (vegeu la taula 2, segona columna). El document admet, per primera vegada a la UE, la necessitat d'equiparar el sòl al mateix nivell de pro-

tecció que l'aigua i l'aire, reconeixent que l'equiparació serà un procés llarg. De manera immediata, es preveu incorporar mesures preventives en la nova legislació, integrar el sòl en altres polítiques sectorials i impulsar la preparació de normes per a instaurar un sistema de vigilància del sòl.

TAULA 2. *Processos* de degradació del sòl identificats, segons fonts diverses, i principals amenaces* per als sòls d'Europa (CCE, 2002)*

<i>Processos de degradació</i>	<i>Amenaces per als sòls d'Europa</i>
Erosió	Erosió
Salinització	Pèrdua de matèria orgànica
Inundacions	Contaminació: difusa i local
Esgotament d'elements nutritius	Segellament (pavimentació)
Pèrdua o destrucció de l'estructura	Compactació
Desertificació	Reducció de la biodiversitat
Contaminació	Salinització
Acidificació	Inundacions
Compactació	Despreniments en massa (esllavissades)
Reducció de la biodiversitat	Desertificació

* S'ha conservat l'ordre en què acostumen a presentar-se ambdues relacions.

Probablement, fóra agosarat intentar fer la diagnosi sobre l'estat de degradació dels sòls de Catalunya quan no es disposa de prou informació referent a aquest recurs ni s'ha realitzat l'avaluació de l'abast i el grau de degradació dels sòls del territori català. Certament, diferents estudis han avaluat alguns processos de degradació; en la majoria dels casos, però, en àmbits restringits, i els resultats són difícils d'extrapolar per manca de la informació esmentada. Malgrat aquestes limitacions, es farà una aproximació —merament qualitativa— sobre les principals amenaces que actualment afecten els sòls de Catalunya, d'acord amb l'ús a què es destinen.

La urbanització ha estat el canvi d'ús que ha afectat últimament més superfície del territori. Aquest procés abraça des de l'ocupació amb finalitats urbanes, industrials o per a

infraestructures viàries, fins a les afectacions per activitats extractives, i les àrees d'influència de totes plegades. Comporta l'excavació, el soterrament de serveis i la pavimentació que són responsables de la total destrucció dels sòls urbanitzats, de manera que la seva posterior recuperació pràcticament esdevé irreversible.

Com en altres regions del món amb un desenvolupament i una densitat de població semblants a les de Catalunya, la demanda de sòl i la competència entre usos del territori creix dia rere dia, sobretot quan es volen o es deuen concentrar moltes activitats en determinades zones, poc extenses en alguns casos. Això ha succeït a la demarcació de Barcelona, a la seva àrea d'influència, i pràcticament a tota la façana litoral i prelitoral, les quals, durant els darrers cinquanta anys, han sofert una forta ocupació urbanística.

El desequilibri demogràfic del territori català és palpable: segons el cens de 1996, mentre que en el 46 % del territori —les setze comarques menys poblades— hi residia un 4,5 % de la població, a l'àrea de Barcelona, amb una superfície del 10 % —el Barcelonès i les sis comarques que el circumden—, hi habitava el 70 % de la població.

A l'àrea de Barcelona, el territori urbanitzat es va doblar successivament durant els períodes 1957-1972 i 1972-1986. A partir dels anys setanta, l'expansió residencial i industrial s'ha fet a expenses dels sòls agraris periurbans, sobretot de les unitats més fèrtils i productives, localitzades en valls i planes. S'ha previst un creixement semblant en el futur, que repercutirà, sens dubte, en una nova minva de l'escassa superfície agrícola que resta (Acebillo i Folch, 2000).

L'expansió turística ha contribuït també a urbanitzar el territori. Des dels anys cinquanta, a la façana litoral, com a quasi bé tota la ribera mediterrània d'Europa, s'han consumit molts sòls agrícoles, i sembla que això continuarà en els propers quinze anys (EEA, 1999). De la mateixa manera, des

dels anys setanta, moltes valls pirinenques i la muntanya mitjana s'han anat urbanitzant com a segones residències, actuació que actualment s'està intensificant; en aquest cas, l'ocupació es duu a terme, essencialment, a expenses de sòls de pastures i forestals.

El fet d'urbanitzar comporta la compactació i la pavimentació del sòl, que, a més, modifiquen la circulació natural de l'aigua en impedir-li que es filtri a través seu, desplaçant-se per sobre de les superfícies asfaltades o compactades, fet que propicia tant l'erosió com les inundacions i esllavissades si no es preveuen mesures a l'hora de construir.

A les zones envaïdes per activitats industrials, a més dels problemes lligats a la urbanització mateixa, cal afegir-hi el risc de contaminació —local i difusa— ocasionada per l'abandonament o l'eliminació incontrolada de residus que diferents activitats han practicat durant molts anys. La contaminació acostuma a detectar-se en desmantellar antics espais industrials o en la clausura d'antics abocadors. Cal esperar que en el futur aquest procés no avançarà, atès el desplegament normatiu que ara regeix tant per a les diferents activitats industrials com per a la gestió de tota mena de residus

És evident que tota activitat extractiva a cel obert, de materials per a la construcció o minera, implica la destrucció del sòl i una agressió paisatgística que cal restaurar. Des de 1992, a Catalunya, la restauració es planifica i coordina conjuntament amb l'explotació —restauració integrada—, de manera que se separa i conserva el sòl original per poder-lo tornar a incorporar (Alcañiz *et al.*, 2002).

En el segle XX, a partir dels anys seixanta, tota l'activitat agrària va experimentar un fort creixement en adoptar nous sistemes de producció que la conduïren cap a una producció intensiva. Això, per una banda, va facilitar gradualment la total desvinculació dels sectors agrícola i ramader, i per l'altra, ha generat episodis de degradació dels sòls agríco-

les, que s'ha manifestat en diferents indrets del territori amb més o menys intensitat, i de diverses maneres.

El principals problemes observats han estat: la compactació per utilització de maquinària pesada, la pèrdua de fertilitat en disminuir la matèria orgànica pel monocultiu o l'excessiu treball del sòl, i la contaminació difusa per abús d'agroquímics —fertilitzants de síntesi i pesticides— i de residus ramaders. Aquest processos propicien tant l'erosió com la reducció de la biodiversitat dels sòls.

Els canvis d'ús del territori, sens dubte, modifiquen els sòls, el paisatge i l'ambient; aquests canvis han estat importants per als sòls agrícoles en els darrers cinquanta anys (Alcañiz *et al.*, 2002). Per sort, únicament una part dels canvis els ha afectat d'una manera irreversible, generalment quan s'han executat amb finalitats urbanístiques i en algunes transformacions agràries de secà a regadiu. En general, quan l'ocupació és per a ús forestal, els sòls tendeixen a recuperar-se amb el pas del temps.

D'ençà de 1950, les terres de regadiu no han incrementat gaire l'extensió —al voltant d'un 10%—, però és en aquest tipus de transformació, molt probablement, on s'han produït canvis irreversibles més importants que han ocasionat la pèrdua del sòl, fonamentalment per solubilització i redistribució de sals contingudes en els materials que han originat el sòl, o quan aquests es troben en zones afectades per sobreexplotació d'aqüífers que han sofert intrusions marines (Alcañiz *et al.*, 2002). Cal disposar d'informació sobre el risc de salinització o de sodificació dels sòls abans d'endegar una transformació agrícola d'aquest tipus, com la que suposarà el recentment aprovat Pla d'Actuacions de Nous Regadius 2002-2008, que planteja la transformació d'unes 120.000 ha, fet que incrementarà quasi en un 4% la superfície total de regadiu.

Per tal de protegir els sòls agrícoles i l'ambient, s'han anat establint normatives i programes específics, com ara el

de desenvolupament rural, i alhora es promouen ajuts o mesures agroambientals (DARP, 2002). Seria, probablement, molt convenient definir en què consisteixen les bones pràctiques agrícoles per a les condicions de Catalunya i posar en marxa les normes o codis necessaris per a facilitar la conservació dels sòls agrícoles.

El procés de degradació més important que pateixen els sòls forestals és l'erosió, accentuada pels incendis, la utilització de maquinària pesada en l'extracció de fusta o neteja de boscos i el pasturatge intensiu. Encara que als boscos de l'àrea mediterrània, avui dia, predominin els serveis no comercialitzables o externalitats positives (Rojas, 1999), la seva explotació per extreure'n diversos béns —comercialitzables o no— s'ha dut a terme des de temps remots i, en alguns casos, ha modificat essencialment els horitzons superficials del sòl. L'extracció de llenya i fusta ha minvat en els darrers anys, mentre que l'ús ramader dels boscos com a pastures tendeix a augmentar. En qualsevol cas, les activitats que es practiquen en aquests espais contribueixen a reduir la biodiversitat.

A l'alta muntanya, on els sòls són especialment fràgils i poc desenvolupats, el moviment de terres associat a la construcció i l'ús de pistes d'esquí provoca la pèrdua de la coberta vegetal i, en molts casos, de l'horitzó superficial, ric en matèria orgànica i nutrients, que en desencadena l'erosió.

Finalment, cal esmentar que els sòls són receptors de la major part de les substàncies que emeten a l'atmosfera algunes activitats industrials i el transport, per la qual cosa no és estrany que els sòls, que ocupen posicions properes a zones fortament industrialitzades o a vies de comunicació que suporten una elevada densitat de trànsit, n'hagin quedat afectats amb més o menys grau, atès que els factors climàtics i l'orografia del terreny són els qui decideixen l'indret de deposició.

Encara que Catalunya tingui una gran diversitat de sòls, el sòl és un recurs natural limitat. Si no s'atura la creixent demanda de sòl, la seva especulació i la competència entre usos d'algunes zones, s'estarà afavorint la seva degradació, i allà on això succeeixi es reduirà irremeiablement la seva disponibilitat (Blum, 1998 i EEA, 2000). Per a prevenir-ho, cal instaurar un sistema integrat de gestió que asseguri l'ús sostenible d'aquest recurs.

UNA PARADOXA, LA PÈRDUA DE MATÈRIA ORGÀNICA DELS SÒLS I LA GESTIÓ DELS RESIDUS ORGÀNICS

Per a concloure, i amb la finalitat d'analitzar una situació concreta, a continuació s'avaluarà la importància de la matèria orgànica (MO) en els sòls de conreu i la conveniència o el despropòsit d'emprar els sòls com a eina en la gestió dels residus orgànics (RO).

El principal procés de degradació que pateixen els sòls agrícoles de la conca mediterrània (Rusco *et al.*, 2001), per haver estat cultivats des de temps remots i de manera intensiva durant l'últim segle, és el seu baix contingut en MO.

La MO és un component clau per al manteniment de les funcions del sòl i el protegeix de l'avanç d'altres processos de degradació. Fins i tot, els agrònoms consideren que els sòls amb menys d'un 1,7% de MO estan en fase de predesertificació (CCE, 2002). El contingut en MO condiciona moltes propietats del sòl. Així, quan aquest component és escàs, disminueix la fertilitat dels sòls i per tant la capacitat productiva, perquè es modifiquen en sentit desfavorable moltes propietats dels sòls; així, s'afebleix l'estructura, es facilita la compactació i la formació de crostes, es redueix la infiltració hídrica i, per tant, s'accelera l'escolament superficial i l'erosió, es redueix la capacitat per a retenir aigua i elements

nutritius, i es limita la diversitat biològica, així com l'activitat dels organismes edàfics.

La quantitat de MO es manté pràcticament constant en els sòls naturals perquè s'hi incorpora i es descompon de manera contínua, i fins i tot és relativament constant en sòls agrícoles semblants sotmesos a les mateixes condicions climàtiques i de conreu. El contingut i la qualitat de la MO d'un sòl depèn de les condicions climàtiques —essencialment de la humitat i la temperatura—, la presència de minerals d'argila que en associar-se amb la MO formen complexos estables, les pràctiques de conreu i els sistemes de maneig emprats, i la naturalesa dels materials orgànics que s'hi incorporen.

En no disposar de dades sistematitzades sobre la quantitat en MO dels sòls agrícoles de Catalunya, s'ha recorregut a les d'una de les àrees de més desenvolupament agrícola del país, com és la província de Lleida (MAPA, 2000). El contingut en MO d'aquests sòls s'indica en la taula 3, on es pot observar que un 27 % tenen valors inferiors a l'1,6 %, i la meitat en tenen menys del 2,1 %.

Des de temps remots, els sòls de Catalunya reberen fems i d'altres restes orgàniques d'origen vegetal que els aportaven MO i elements nutritius; això els permeté mantenir la fertilitat i assegurar la producció agrícola durant molts anys. En abandonar els sistemes de conreu tradicionals i adoptar els de producció intensiva, se substituïren els fems pels fertilitzants de síntesi i s'acceptaren noves pràctiques de conreu que no afavorien la conservació de la MO.

A principis dels anys setanta, arran de la primera crisi del petroli, retornà l'interès pels fems, però l'especialització de l'activitat agrària va fer que no n'hi hagués prou a l'abast o que calgués portar-los d'indrets massa llunyans. Aquest dèficit, entre altres motius, impulsà la incorporació de nous materials orgànics de rebuig originats en nuclis urbans o en

activitats del sector agroalimentari, i gradualment se n'hi afegiren altres d'origen molt divers, sotmesos o no a tractaments previs a l'aplicació. Tanmateix, la manca de sòl per a ús agrícola en les zones de ramaderia intensiva, essencialment de bestiar porcí, va promoure l'aplicació excessiva de purins. Aquest fet, juntament amb l'abús dels adobs nitrogenats sintètics, va iniciar la contaminació de molts aqüífers del país, que s'ha reforçat darrerament amb el creixement del sector porcí.

TAULA 3. *Contingut en matèria orgànica (%) de sòls agrícoles de la província de Lleida (MAPA, 2000)*

	<i>Nombre de mostres</i>	<i>Matèria orgànica</i>
• Sòls agrícoles —cereals,	1	≤ 0,5
oliveres, ametllers,	6	0,6-1,0
gira-sòls, fruiters— i pastures	10	1,1-1,5
	15	1,6-2,0
	11	2,1-2,5
	8	2,6-3,0
• Característiques de la mostra:	2	3,1-3,5
quadricla 9 km × km	3	3,6-4,0
superfície total: 554.445 ha	3	4,1-4,5
nombre de mostres: 62	0	4,6-5,0
8.942 ha/mostra	1	5,1-5,5
	0	5,6-6,0
	1	6,1-6,5
	0	6,5-7,0
	0	7,1-7,5
	0	7,6-8,0
	1	8,1-8,5

Durant els darrers anys, els RO s'han anat convertint arreu en materials valoritzables per a ser reutilitzats a través dels sòls; a Catalunya, però, sovint sense massa informació sobre la seva qualitat. La legislació vigent, en els diferents nivells de gestió, en promou la reutilització i s'han establert normes d'aplicació, laxes i probablement insuficients, que

actualment estan en fase de revisió a la UE (EC, 2000 i 2001) amb la finalitat de garantir la qualitat sostenible dels sòls, controlar la transferència de contaminants, mantenir la diversitat d'organismes edàfics i preservar la xarxa alimentària i la salut. Tanmateix, s'han endegat diversos programes específics que també condueixen la gestió dels RO cap al sòl.

L'objectiu bàsic sobre el qual s'ha de sustentar la reutilització dels RO a través dels sòls, ha de ser mantenir o millorar el contingut en MO i aportar els elements nutritius que necessiten els conreus, sempre que s'apliquin en quantitats raonables i la qualitat dels residus sigui l'adient. Actualment s'hi han afegit, però, d'altres objectius amb la intenció de resoldre diversos problemes ambientals punyents, com ara: la necessitat de gestionar urgentment l'enorme quantitat de RO que es generen, la necessitat de prescindir d'alguna alternativa de gestió pels seus efectes ambientals, i la pressa per a reduir l'emissió de gasos hivernacle. Sens dubte, la reutilització agrícola és una solució que pot apaivagar els problemes associats als RO, però de cap manera no ha de servir per a realitzar una gestió inadequada que comprometi el recurs sòl, perquè aquesta seria la pitjor solució a què es podria optar per resoldre la gestió de residus (Soliva i Felipó, 2002).

Actualment a casa nostra, tant els posseïdors com els productors i els gestors de qualsevol tipus de RO —figures reglades en la legislació— estan convençuts que la incorporació al sòl és l'opció de gestió econòmicament més avantatjosa, però menyspreen els possibles impactes que aquesta activitat, a mitjà o llarg termini, pot ocasionar sobre els sistemes agrícoles i l'ambient. Sens dubte, l'aplicació indiscriminada i massiva al sòl pot ser l'origen de nous problemes que poden arribar a tenir repercussions importants per als sòls, els altres components de l'ambient, la qualitat dels aliments i la salut humana (Soliva i Felipó, 2002).

El sòl té capacitat, encara que no il·limitada, per a reciclar RO, però, per a poder-la garantir, cal conèixer la qualitat o grau d'ideoneïtat dels RO. Aquesta qualitat es pot expressar en funció de les seves capacitats intrínseques, en agrupar algunes de les característiques; així: el potencial o valor esmena, vers la quantitat i la qualitat de la fracció orgànica; el potencial o valor fertilitzant, que expressa el contingut total i el disponible en elements nutritius (N, P, K); i el potencial o càrrega contaminant, que manifesta el contingut en contaminants químics (inorgànics i orgànics) i biòtics (organismes patògens). La caracterització dels RO ha de servir també per a reutilitzar únicament els més adequats en sistemes agrícoles, i decidir altres rutes de gestió quan la qualitat no ho permeti. Disposar d'una eina de selecció, fonamentada en la qualitat, seria d'enorme utilitat per a reconduir la gestió dels RO a casa nostra.

L'aplicació de RO al sòl per a restituir la MO ha de ser una actuació exigent, no únicament envers la quantitat i la freqüència de les aportacions, sinó també en relació amb la qualitat dels materials i amb les pràctiques de conreu; a més, cal avaluar les característiques del sòl receptor i de l'entorn, les condicions climatològiques, i les exigències del conreu a instaurar. Només així es pot assegurar la conservació del recurs sòl, imprescindible per a portar a terme una agricultura sostenible. Amb la finalitat que aquest desig sigui una prompta realitat, és necessari i urgent poder disposar d'un codi de bones pràctiques.

REFERÈNCIES

ACEBILLO, J.; FOLCH, R. [dir.] (2000). *Atlas ambiental de l'àrea de Barcelona. Balanç de recursos i problemes*. Barcelona: Ariel Ciència.

- AMUNDSON, R.; JENNY, H. (1991). «The place of humans in the state factor theory of ecosystems and their soils». *Soil Sci.*, núm. 151, p. 99-109.
- ALCAÑIZ, J. M.; BOIXADERA, J.; FELIPÓ, M. T.; ORTIZ, O.; POCH, R. M. (2002). «Els sòls». *L'estat del medi ambient a Catalunya*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. [Pendent de publicació]
- BLUM, W. E. H. (1998). «Soil degradation caused by industrialization and urbanization». *Advances in Geoecology*, núm. 31, p. 755-766.
- CCE (2002). *Hacia una estrategia temática para la protección del suelo*. (COM 2002) 179 final. Comunicació de la Comissió de les Comunitats Europees (CCE). <http://www.europa.eu.int/comm/environment/agriculture/soil_protection.htm> [Consulta: 20/04/2002]
- DARP (2001). *Mapa de sòls 1:25.000 de Catalunya*. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. <<http://www.gencat.net/darp/sols.htm>> [Consulta: 20/08/2002]
- (2002). *Mesures agroambientals*. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. <<http://www.gencat.net/darp/agroamb.htm>> [Consulta: 2/09/2002]
- DE KIMPE, C. R.; WARKENTIN, B. P. (1998). «Soil functions and the future of natural resources». *Advances in Geoecology*, núm. 31, p. 3-10.
- EC (2000). «Working document on Sludge 3rd draft». *Waste management*. Comissió Europea. DG ENV. E3-2000. <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/facts_en.htm> [Consulta: 28/12/2000]
- (2001). «Working document on biological treatment of bio-wastes 2nd draft». *Waste management*. Comissió Europea. DG ENV. E3-2000. <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/facts_en.htm> [Consulta: 28/02/2001].
- EEA (1998). «Soil degradation». *Environment in the European Union at the Turn of the Century*. Agència Europea

- del Medi Ambient (EEA). <http://themes.eea.eu.int/Specific_media/soil/reports> [Consulta: 28/11/2001]
- (1999). *State and pressures and coastal Mediterranean environment*. Agència Europea del Medi Ambient (EEA). <<http://themes.eea.eu.int/>> [Consulta: 28/11/2001]
- (2000). *Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe — A challenge for the 21st century*. Agència Europea del Medi Ambient (EEA). <http://themes.eea.eu.int/Specific_media/soil/reports> [Consulta: 28/11/2001]
- HERRERO, C.; BOIXADERA, J.; DANÈS, R.; VILLAR, J.M. (1993). *Mapa de sòls de Catalunya 1:25.000. Bellvís 360-1-2 (65-28)*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Direcció General de Producció i Indústries Agroalimentàries. Institut Cartogràfic de Catalunya.
- JENNY, H. (1941). *Factors of soil formation*. Nova York: McGraw-Hill Book Co.
- MAPA (2000). *Estudio de los niveles de metales pesados en los suelos de la provincia de Lleida*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). Laboratorio de Análisis y Fertilidad de Suelos (LAF).
- PEIX, I. [coord.] (2001). *Llibre blanc del sector agrari: un debat al territori*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. <<http://www.gencat.net/darp/lllibranc.htm>> [Consulta: 10/06/2002]
- ROJAS, E. (1999). «El bosc mediterrani en el segle XXI». *Medi Ambient: Tecnologia i Cultura*, núm. 23, p. 5-15.
- RUSCO, E.; JONES, R.; BIBOGLIO, G. (2001). *Organic matter of the soils in Europe: present status and future trends*. ESB. Soil and Waste Unit. Institute for environment and Sustainability. JRC. Ispra.
- SERRAT, D.; PORTA, J. [ed.] (1985). «Recursos geològics i sòl». A: *Història natural dels Països Catalans*. Vol. 3. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.

SOLIVA, M.; FELIPÓ, M. T. (2002). «Organic wastes as a resource for Mediterranean soils». A: *Workshop on Biological Treatment on Biodegradable Wastes — Technical aspects* [en línia]. Brussel·les: DG Environment & JRC. <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/eventpast/bio_programme.htm>

**SOCIETAT CATALANA
DE FÍSICA**

ELS RISCOS NATURALS:

MÈTODES D'ESTUDI

I PREVENCIÓ,

A CÀRREC D'ANTONI ROCA,

DE L'INSTITUT CARTOGRÀFIC

DE CATALUNYA

INTRODUCCIÓ: RISCOS NATURALS?

Des dels inicis de la humanitat l'home lluita contra els fenòmens naturals que provoquen destrucció de persones i béns. En la creença que aquests fenòmens eren conseqüència de la voluntat dels déus, les societats primitives —i no tan primitives— organitzaven ofrenes, sacrificis, processons..., segons les diferents cultures. L'home veia, en aquelles actuacions envers els déus, la posada en funcionament de tasques de prevenció.

Amb la creixent incorporació de la ciència i la tecnologia a la societat, l'home fa un esforç per comprendre aquests fenòmens de la natura i intenta, en alguns casos, «controlar-los» i defensar-se'n, protegir-se dels seus efectes.

No obstant els avenços científics i tecnològics, s'observa que en les últimes dècades els danys causats per fenòmens naturals han augmentat, la societat en general s'ha fet més vulnerable. Així ho constaten, entre altres fonts, les estadístiques recollides per companyies asseguradores i reasseguradores (Munich Re, 1998; Swiss Re, 2000; Nájera, 1999). Es fa palès, doncs, que hi ha altres factors més determinants que els mateixos esdeveniments geològics o atmosfèrics: l'activitat i el comportament humà. Les catàstrofes naturals revelen que el nostre desenvolupament econòmic és inacceptablement fràgil, massa vulnerable als comportaments normals de la natura. Cal encara treballar perquè la reducció dels desastres, la cultura de la prevenció, formin part intrínseca del desenvolupament.

PERILLOSITAT, VULNERABILITAT, RISC, DESASTRE I PREVENCIÓ

Un *desastre* és una situació o procés social que es desencadena com a resultat de la manifestació d'un fenomen d'origen natural, tecnològic o provocat per l'ésser humà que, en trobar

condicions propícies de vulnerabilitat en una població, causa alteracions intenses en les condicions normals de funcionament de la comunitat. Aquestes alteracions estan representades per la pèrdua de vida i salut de la població, i la destrucció o pèrdua de béns de la col·lectivitat i danys severes al medi ambient, raó per la qual es requereix una resposta immediata de les autoritats i de la població per atendre els afectats i restablir la normalitat. Un desastre significa un determinat nivell de danys i pèrdues que s'estableix socialment d'acord amb la capacitat d'aquesta societat per enfrontar-los i recuperar-se utilitzant els seus propis recursos i reserves. Això vol dir que hi pot haver danys i pèrdues sense que existeixi desastre per a la societat (Cardona, 2001).

L'existència de desastre o de pèrdues suposa, en general, l'existència prèvia de determinades condicions de *risc*, és a dir, representa la materialització d'aquestes condicions de risc preexistents. Un cop el risc és reconegut per la societat, aquesta ha de fer quelcom per reduir-lo.

El *risc* (R) s'expressa normalment com el producte de la *perillositat* (P) per la *vulnerabilitat* (V) dels objectes exposats:

$$R = P \times V,$$

tenint en compte el temps d'exposició, que es pot considerar com un altre factor específic o, com aquí, implícit dins la vulnerabilitat.

La *perillositat* deguda a un fenomen específic (d'origen natural o no) es defineix, en termes probabilístics, com la probabilitat que un punt concret del territori experimenti una acció d'una magnitud determinada en un cert període de temps.

Seguint dins un esquema probabilista, la *vulnerabilitat* d'un objecte exposat a un fenomen natural específic és la probabilitat que aquest objecte experimenti un cert nivell de dany quan se sotmet a una acció determinada.

Així, el risc s'haurà d'expressar sempre en termes de danys objectivats, en termes de costos econòmics i efectes sobre les persones i, en general, la societat.

Per minimitzar el risc podem actuar, doncs, en cadascun dels dos factors: o bé disminuint la perillositat o bé disminuint la vulnerabilitat. En certs fenòmens naturals serà possible disminuir la perillositat (per exemple, en el cas d'inundacions, fent repeses o altres obres de protecció). En altres tipus de fenòmens, com és el cas dels terratrèmols, les actuacions hauran d'anar destinades sobretot a disminuir la vulnerabilitat dels edificis, les estructures i les infraestructures exposades.

Les accions mitigadores de risc —*prevenció*— que calen són les següents: 1) un conjunt de polítiques relatives a l'ús del territori (planejament territorial, urbanisme); 2) l'establiment i compliment de normatives de construcció, i 3) una adequada preparació mitjançant plans i accions de protecció civil.

Per tal que els responsables corresponents puguin prendre decisions raonables es fa imprescindible disposar d'avaluacions de risc. Les decisions hauran d'estar sustentades per una anàlisi cost-benefici i per a això resulta molt útil poder disposar d'eines adequades per a la generació d'escenaris de danys, simulacions amb avaluacions de danys en les edificacions, costos econòmics i efectes en les persones (possible nombre de víctimes, de ferits).

AVALUACIÓ DEL RISC I REPRESENTACIÓ CARTOGRÀFICA

Els fenòmens naturals susceptibles de produir danys tenen la seva expressió en els mapes de risc i en els sistemes de generació d'escenaris de danys, eines bàsiques i imprescindibles per a l'establiment de les polítiques de prevenció. Però l'estat de coneixement dels fenòmens naturals i dels seus possibles

efectes en un determinat territori assoleix nivells molt diversos en diferents països, i aquestes diferències queden reflectides en la major o menor disponibilitat de mapes temàtics específics.

Així, hom es pot referir a diferents nivells de coneixement, a diferents fases en l'avaluació del risc, a diferents estadis en les cartografies dels fenòmens naturals inductors de risc:

- En primer lloc, es tracta de descriure, conèixer els fenòmens i la seva dinàmica; localitzar els llocs d'ocurrència; georeferenciar els successos; descriure els fenòmens mitjançant models físics simplificats o més o menys complexos. Així, podem disposar d'unes primeres *cartografies d'esdeveniments*. Un exemple d'aquest tipus d'expressió cartogràfica són els mapes de sismicitat, on es representen els epicentres dels terratrèmols produïts en un determinat període de temps; o un mapa on es representarien els punts o àrees on es té constància que s'hi han produït esllavissades.
- Un altre pas consistiria a determinar, mitjançant l'aplicació d'hipòtesis diverses, les àrees *susceptibles* de ser origen dels fenòmens, possibles zones font. D'aquesta anàlisi en sortiria una primera zonació del territori.
- Per a l'elaboració dels mapes de *perillositat* cal quantificar l'acció del fenomen en cada punt del territori (exemples: mapa d'acceleracions del moviment del sòl produït per terratrèmols o mapa amb la pressió d'impacte de les allaus, per a un determinat període de retorn).
- En les avaluacions de vulnerabilitat dels elements exposats cal considerar, a més dels edificis d'habitatge, les edificacions essencials (aquelles d'espe-

cial importància en l'emergència, com són els hospitals, parcs de bombers, escoles, edificis estratègics, de comandament, centres d'equipaments bàsics, etc.), i també les línies vitals (vies de comunicació, de transport d'energia, etc.). Aquestes avaluacions constitueixen capes d'informació que també donen lloc a cartografies.

- Finalment, la combinació de la perillositat amb la vulnerabilitat, quan aquestes han estat avaluades, permetrà generar mapes de risc i escenaris de danys.

Més endavant es descriuran alguns exemples d'aquestes cartografies, en particular referides al risc sísmic, del qual s'han fet avaluacions a diferents escales (Roca *et al.*, 1999).

Per a l'avaluació del risc cal utilitzar una gran quantitat de dades referides al territori i, per tant, els sistemes d'informació geogràfica són molt útils per al procés d'anàlisi i de representació i, en particular, per a la generació dels escenaris de danys.

EINES, MÈTODES, TÈCNiques

Sota la denominació de riscos naturals es poden considerar aquells de tipus geològic i hidrològic l'origen dels quals és la geodinàmica interna (terratrèmols i tsunamis, erupcions volcàniques) o l'externa (inundacions, torrentades, erosió i desertització, esllavissaments, esfondraments, allaus...); de tipus estrictament meteorològic (fortes pluges, huracans, ciclons...); i uns altres d'origen extern a la Terra, com són les tempestes magnètiques o la caiguda de meteorits. En aquesta comunicació ens referirem només a alguns riscos geològics i, sols de passada, hidrològics: inundacions, moviments de massa (caigudes de blocs, esllavissades, esfondraments), allaus i terratrèmols.

Per a l'estudi dels riscos naturals i la realització de les cartografies corresponents tenim al nostre abast una gran quantitat d'eines, diferents depenent del fenomen natural a estudiar. Cal combinar diverses tècniques de geologia, geotècnia, hidrogeologia, hidràulica, geofísica, geodèsia, teledetecció i enginyeria, per resoldre problemes específics.

A continuació es descriuen, de manera sintètica, alguns diferents tipus de treballs que es porten a terme i les tècniques que es fan servir usualment, il·lustrant-los mitjançant exemples d'actuacions recents; en particular, es resumeixen els treballs realitzats per a la redacció del Pla d'Emergències Sísmiques de Catalunya (SISMICAT), que constitueixen un exemple de com, mitjançant l'ús de mètodes simplificats, s'arriba a fer una primera avaluació del risc sísmic i es generen escenaris de danys.

RISC D'INUNDACIONS. RISCOS HIDROLÒGICS

El risc d'inundacions és el més freqüent al nostre país. En els últims anys diferents organismes, en particular els competents en matèria de l'aigua (Agència Catalana de l'Aigua) i de Protecció Civil (Departament d'Interior) han portat a terme una sèrie de treballs per conèixer i mitigar el risc d'inundacions, per redactar el Pla Especial d'Emergències per a Inundacions a Catalunya (INUNCAT), d'acord amb la *Directriz básica* (febrer 1995). S'han elaborat una sèrie de mapes on es delimiten les zones inundables i, entre altres aspectes, es relacionen els anomenats punts crítics (<http://www.gencat.net/aca>). Aquestes cartografies són una primera aproximació que està en procés de millora.

La delimitació de les zones inundables per un període de retorn determinat (cinquanta, cent, cinc-cents anys) es realitza mitjançant tècniques de modelització hidrològica de

pluviometries, càlcul de cabals i modelització hidràulica per a la qual és important disposar de models digitals d'elevacions del terreny amb la precisió i resolució adequada. Cal esmentar la utilitat per a aquest tipus d'estudis de la informació topogràfica obtinguda amb el suport de la tècnica d'altimetria LÀSER aerotransportada (LIDAR), recentment posada al punt a l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), mitjançant la qual es poden generar models d'elevació del terreny d'alta precisió, d'ordre decimètric (Ruiz, 2002) sobre el qual s'efectua la modelització hidràulica (vegeu la figura 1). Aquesta tècnica s'ha començat a aplicar de manera sistemàtica per al projecte de delimitació de l'espai públic hidràulic, en col·laboració amb l'Agència Catalana de l'Aigua.

L'anàlisi dels efectes geomorfològics associat als aiguats és un component important dins l'estudi dels riscos hidrològics.

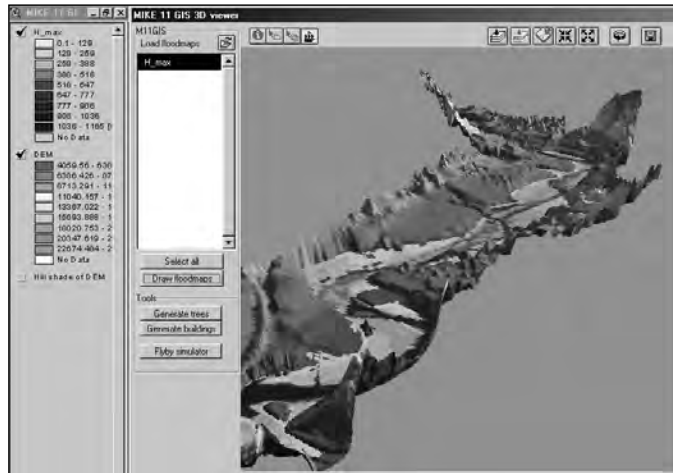


FIGURA 1. Modelització hidràulica 3D sobre un model d'elevacions del terreny obtingut mitjançant LIDAR.

Es consideren dins els moviments de massa les caigudes de blocs, les esllavissades, les subsidències, els col·lapses. En general, al nostre país, aquests fenòmens solen tenir unes àrees d'afecció més reduïdes que els espais inundables o les àrees potencialment sotmeses a moviments sísmics, però la intensitat del fenomen en indrets concrets pot ser elevada i produir danys força importants.

En el cas de les *caigudes de blocs*, a partir de l'observació, l'anàlisi i la modelització, amb l'ajut dels models digitals del terreny, es poden determinar les trajectòries, velocitat, energia, alçades del rebot dels blocs. A partir d'aquí es pot efectuar la cartografia de perillositat, que permet prioritzar les actuacions que cal portar a terme quant a mesures correctores i de reducció del risc.

En el cas de les *esllavissades*, cal actuar tant des dels aspectes referents a la cartografia de risc, destinada a delimitar i avaluar les zones afectades per aquests processos, com en l'anàlisi d'estabilitat, mitjançant mètodes d'equilibri límit i amb propostes de projectes per a l'estabilització de vessants, talussos i terraplens, per als quals es realitzen estudis geotècnics.

En el cas del risc de subsidència i d'esfondrament sobtat (col·lapse), en general es tracta d'avaluar-ne l'extensió i possible evolució. S'apliquen diferents tècniques de mesura i anàlisi amb l'objectiu d'obtenir la informació necessària per adoptar les mesures preventives i correctores més adequades i, en definitiva, proporcionar una eina que permeti efectuar una correcta planificació i ordenació de les activitats que s'esdevenen en els territoris afectats per aquests processos.

Per a la mesura de les subsidències (vegeu la figura 2) s'apliquen tècniques d'anivellació d'alta precisió en superfície, s'auscullen els moviments a l'interior del terreny

mitjançant extensòmetres instal·lats en diferents profunditats a l'interior de sondeigs. També s'han aplicat tècniques d'interferometria radar, a partir d'imatges de satèl·lit efectuades al llarg de diferents anys (Hanssen, 2001; Crosetto *et al.*, 2002).



FIGURA 2. Mesures de subsidència mitjançant tècniques convencionals d'anivellació d'alta precisió (esquerra) i interferometria radar (dreta).

Es porten a terme estudis geològics, hidrogeològics, sondeigs geotècnics, assaigs penetromètrics i pressiomètrics *in situ*, extracció de mostres per fer-ne l'assaig al laboratori, etc. També esdevenen molt útils les tècniques de prospecció geofísica, en particular la sísmica d'alta resolució (Teixidó, 2000; Teixidó i Benjumea, 2002). Amb tota la informació recopilada es pot caracteritzar la geometria i característiques del subsòl i efectuar una anàlisi tensodeformacional del terreny mitjançant mètodes numèrics d'elements finits, amb l'objectiu de preveure i quantificar la possible evolució del fenomen.

Al Pirineu, en les últimes dècades, l'ús i l'ocupació de les zones d'alta muntanya susceptibles de sofrir allaus ha anat en augment. El consegüent increment de la vulnerabilitat (i, en el cas dels excursionistes, el temps d'exposició acumulat) suposa un increment important del risc. Per tal de reduir aquest risc es treballa en dues línies fonamentals: la *predicció* del perill d'allaus i la *cartografia* de zones d'allaus.

L'objectiu de la predicció temporal del perill d'allaus als Pirineus de Catalunya (Garcia *et al.*, 1996) és l'emissió i la difusió pública d'un butlletí de perill d'allaus (BPA) que es va començar a emetre durant la temporada 1990-1991 i que es fa públic durant els mesos de desembre a maig i de dilluns a dissabte (amb la predicció per al cap de setmana). En aquest butlletí s'informa del grau de perill previst, segons l'escala europea unificada en les immediates 24 hores, per a les set zones delimitades als Pirineus de Catalunya (vegeu la figura 3), de la distribució i l'estat del mantell nival i de la tendència per a les subsegüents 48 i 72 hores. La informació nivològica és vàlida fora de les pistes d'esquí i zones controlades. El BPA es difon públicament diàriament per Internet (<http://www.icc.es/allaus>), per contestadors telefònics automàtics i pel teletext de TV3. A més, s'elaboren avisos especials en cas de situacions crítiques, adreçats als responsables de la protecció civil i als mitjans de comunicació.

La predicció del perill es fa sobre la base de l'anàlisi de les dades procedents de dues xarxes d'observació nivome-teorològica d'alta muntanya, una de manual o convencional i una altra d'automàtica, l'objectiu de les quals és obtenir dades sobre la velocitat i la direcció del vent, la temperatura i la humitat de l'aire, la radiació solar incident, el gruix total de neu, la precipitació, la temperatura de l'interior del mantell nival a diferents alçades, i dades corresponents a l'estratigrafia i a la resistència del mantell nival.



FIGURA 3. Zones nivoclimàtiques en què s'han regionalitzat els Pirineus de Catalunya, a les quals hi ha referida una predicció concreta.

La xarxa d'observadors nivometeorològics va començar a implantar-la el Servei Geològic de Catalunya l'hivern de 1987-1988 davant la manca d'estacions meteorològiques a l'alta muntanya suficients per possibilitar el seguiment de l'estat del temps i del mantell nival. Les dades es prenen en zones situades entre els 1.800-2.500 m d'altitud, cotes en què s'inicien gran part de les allaus. D'altra banda, la implantació de la xarxa d'estacions nivometeorològiques automàtiques es va iniciar l'hivern de 1997-1998 per tal de complementar la xarxa manual (García *et al.*, 2002). El seu establiment suposa una millora quantitativa i qualitativa de les dades corresponents a les condicions de la neu i a l'evolució meteorològica per sobre dels 2.000 m d'altitud. Transmeten les dades al cen-

tre de recepció, a la seu de l'ICC, mitjançant enllaços de radiofreqüència, telefonia mòbil GSM i satèl·lit (Iridium). Es tracta de l'única xarxa d'observació automàtica en alta muntanya de l'Estat espanyol. Les dades recollides són distribuïdes diàriament al Servei de Meteorologia de Catalunya perquè les utilitzin en la predicció meteorològica d'abast nacional, així com al Servei de Prevenció d'Incendis en la lluita contra el foc.



FIGURA 4. Estació nivometeorològica automàtica situada a la Bonai-gua (2.200 m). Aquestes estacions permeten un seguiment continuat de l'evolució dels paràmetres d'interès.

D'altra banda, totes les dades de les xarxes nivometeorològiques de l'ICC són trameses diàriament a Meteo-France per tal d'alimentar un model de predicció numèrica que proporciona els resultats d'una anàlisi del grau de perill i que suposa una eina d'ajut en l'elaboració del BPA.

Pel que fa a la cartografia, des de 1997 es publica la sèrie *Mapa de zones d'allaus de Catalunya a escala*

1:25.000, composta per catorze fulls, que representa les zones dels Pirineus de Catalunya que poden ser afectades per allaus. L'elaboració d'aquesta cartografia, juntament amb la base de dades associada, gestionada a través d'un sistema d'informació geogràfica, permet localitzar i distingir les zones afectades per allaus, compilar dades històriques i efectuar diverses anàlisis (Martí *et al.*, 1997; 2000).

Es considera *zona d'allau* l'àrea en què al llarg del temps s'han produït desencadenaments d'allaus de diferents dimensions. El seu límit és donat per la màxima allau que actualment permeten determinar els indicis existents (geomorfològics, de vegetació i històrics). En cas d'absència d'indícis de vegetació i històrics, es defineixen les possibles zones d'allaus a partir de les seves característiques geomorfològiques.

L'elaboració temàtica d'aquests mapes consta de tres fases: 1) fotointerpretació: interpretació de fotografies aèries verticals i d'ortofotomapes fetes en absència de neu, ja que és quan s'observa millor la morfologia dels vessants i els diferents tipus de vegetació afectats per les allaus; amb l'observació de les característiques morfològiques, de la rugositat del terreny i de la vegetació, i amb l'ajuda de mapes de pendents, obtinguts a partir de la base de dades altimètrica, es determinen els límits de les zones afectades per les allaus; 2) interpretació de camp: identificació i descripció de les zones d'allaus determinades prèviament per fotointerpretació; l'observació al camp permet acabar de delimitar aquestes zones, especialment pel que fa a la seva zona d'arribada; 3) enquesta a la població: s'enquesta la població per obtenir informació sobre els diferents episodis d'allaus (tipus, freqüència, època en què es produeixen, etc.) i els seus límits; tota aquesta informació és també incorporada a la base de dades d'allaus.

És fonamental considerar les allaus en la planificació urbanística i projectes d'edificació i vies de comunicació en alta muntanya. Els estudis corresponents han d'incloure una

cartografia de detall de l'àrea afectada (1:5.000, 1:10.000) i una anàlisi dinàmica de les allaus amb el càlcul dels límits màxims i les pressions d'impacte; i, consegüentment, l'estudi dels sistemes de protecció més adequats per a les infraestructures afectades i l'establiment dels corresponents plans de prevenció.

TERRATRÈMOLS

Per redactar el Pla d'emergències sísmiques de Catalunya (SISMICAT), la Direcció General d'Emergències de la Generalitat de Catalunya, d'acord amb les directrius bàsiques de l'Estat (*Directriz básica*, maig 1995), va realitzar una sèrie de treballs tècnics que comprenen una avaluació de la perillositat, la vulnerabilitat i el risc sísmic al territori català, incloent la generació d'escenaris de danys. Constitueix, per tant, un exemple d'avaluació dels diferents components del risc que es comentaven abans i per això, a continuació, se'n presenta un resum.

51

AVALUACIÓ DE LA PERILLOSITAT SÍSMICA

Un element fonamental per avaluar correctament la perillositat dels fenòmens naturals és disposar d'una sèrie de dades que cobreixi un període de temps el més llarg possible; en el cas dels terratrèmols, es tracta de disposar d'un catàleg sísmic fiable i complet. El nou «Catàleg de sismicitat» (Susagna i Goula, 1999; Susagna *et al.*, 2001) recull i unifica la informació sísmica que prové de diverses fonts existents fins al moment, inclosos els diferents treballs efectuats de revisió de la sismicitat històrica (Olivera *et al.*, 1994; 1998, entre altres). També s'ha realitzat una nova zonació sismotectòni-

ca basada en criteris geològics i sismològics. L'avaluació de la perillositat sísmica s'ha dut a terme combinant mètodes deterministes i probabilistes que tenen en compte aquestes noves dades (Secanell, 1999; Secanell *et al.*, 1998).

El procés seguit per aquests tipus de models es pot resumir de la manera següent:

- En cadascuna de les zones sismotectòniques considerades, i d'acord amb les dades disponibles en cada zona proporcionades pel catàleg sísmic, s'ajusten els paràmetres característics al model d'ocurrència de terratrèmols usat.
- Una vegada s'han deduït totes les distribucions de probabilitat d'ocurrència de terratrèmols de cada zona sismotectònica, es propaguen els efectes de la sismicitat de cada zona sismotectònica a cada punt del territori, d'acord amb unes lleis d'atenuació de la intensitat sísmica amb la distància ajustades específicament per a Catalunya.
- En cadascun dels punts del territori s'estudien els efectes sísmics que provenen de cada zona sismotectònica i es calcula la probabilitat d'excedir una intensitat determinada en un període de temps donat.

A la figura 5 es presenta el mapa de zones sísmiques resultant, basat en el mapa probabilista i modificat parcialment pel mapa determinista en els llocs on la diferència d'intensitats és important, per a un període de retorn de cinc-cents anys. Per confeccionar aquest mapa s'han fet coincidir els límits de les zones sísmiques amb límits municipals.

Aquest mapa està referit a un sòl de tipus mitjà, que segons la classificació geotècnica que es presenta a continuació correspon a un sòl de tipus A (correspon al 45 % dels municipis).

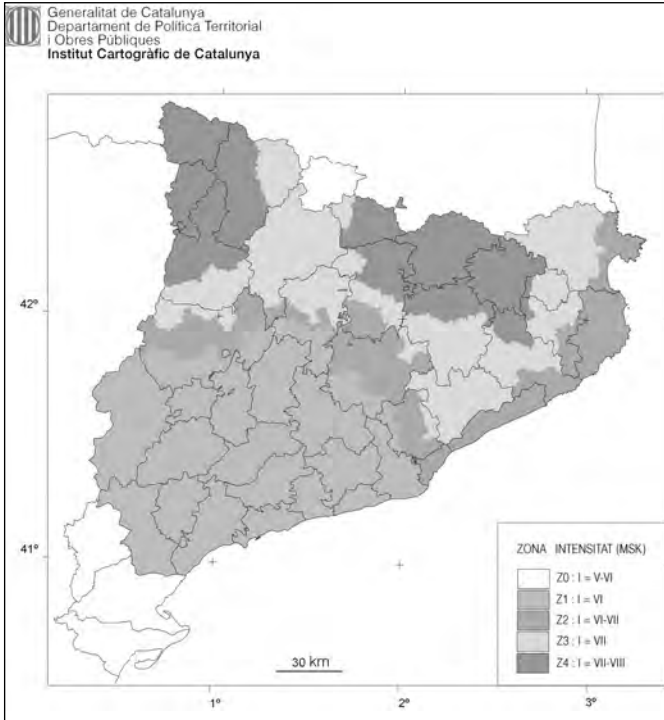


FIGURA 5. Mapa de zones sísmiques per a un sòl mitjà (ICC 1997).

En l'avaluació del risc sísmic és important considerar les possibles amplificacions del moviment degut als efectes del sòl. Per això és recomanable la realització d'estudis de detall de microzonació sísmica, especialment en zones urbanes (Roca *et al.*, 1999; Cid *et al.*, 2001). Quan es tracta de fer una avaluació de caràcter general, com la que aquí es comenta, cal considerar models simplificats a escala regional, com el proposat per Fleta *et al.* (1998), que realitzen una primera caracterització dels nuclis urbans dels 944 municipis de Catalunya. Aquesta classificació es fa segons quatre tipus

de sòls: R, A, B i C, amb una resposta particular enfront del fenomen sísmic, associada a la velocitat que tenen les ones S en travessar-los. El sòl tipus R correspon a una roca dura on la velocitat de les ones S és superior a 800 m/s. El tipus A correspon a roques compactes amb una velocitat de les ones S d'entre 800 i 400 m/s. El tipus B correspon a materials semicompactats tous amb velocitats de les ones S d'entre 400 i 150 m/s. A l'últim, el tipus C correspon a material no cohesionat i sorres toves, amb una velocitat de les ones S inferior a 150 m/s.

AVALUACIÓ DE LA VULNERABILITAT

Per a l'avaluació de la vulnerabilitat sísmica dels edificis d'habitatge o assimilats s'aplica una metodologia estadística (Chávez, 1998; Chávez *et al.*, 1998) que permet fer estimacions encara que es disposi de poca informació sobre els edificis i sense haver de portar a terme un treball de camp llarg i costós. Això implica, entre altres coses, que els resultats que s'obtenen per a cada municipi, que és la unitat de treball escollida, es refereixin sempre a valors globals, sense poder donar resultats amb detall per a edificis individuals. En el cas que ens interessi per a edificis individuals, com són els edificis amb serveis imprescindibles per a la comunitat, la metodologia només permetrà obtenir un resultat probabilista per traduir l'aspecte estadístic de l'anàlisi.

Així, la classificació dels edificis d'habitatge de Catalunya (prop d'un milió) segons les classes de vulnerabilitat definides en l'EMS-98 (Grünthal, 1998) s'ha dut a terme partint de les dades del cens d'edificis realitzat l'any 1990 per l'Institut d'Estadística de Catalunya (IEC): edat, alçada i situació geogràfica dels edificis. L'edat i l'alçada estan clara-

ment associades a la vulnerabilitat sísmica dels edificis. L'edat, no només té importància pel seu efecte sobre el procés de deteriorament de la resistència de l'edifici, sinó que és indicativa de les diferents tècniques constructives, variables al llarg del temps. Segons les informacions recollides per experts en els temes constructius, s'han pogut fer tres grups d'edificis segons el període de construcció: anteriors a 1950; entre 1950 i 1970 i posteriors a 1970. I, segons la seva alçada s'han definit amb els límits següents: 12 m (menys de cinc plantes), que formen el primer grup i 18 m (més de cinc plantes), que formen el segon grup. Els edificis d'alçades intermèdies (cinc plantes) formen un tercer grup. Finalment, s'ha tingut en compte si l'edifici pertany al nucli urbà o si es tracta d'un edifici aïllat.

A la taula 1 es presenta la distribució dels edificis d'habitatge de Catalunya (aprox. 935.000), segons els tres paràmetres assenyalats. A la taula 2 es mostra la matriu que relaciona els paràmetres considerats amb la probabilitat de pertinença a les classes de vulnerabilitat A, B, C i D de l'escala EMS-98.

TAULA 1. *Distribució dels edificis d'habitatge de Catalunya segons l'alçada, l'any de construcció i la situació (cens de l'Institut d'Estadística de Catalunya, 1990)*

<i>Data de construcció</i>	<i>Fins a 1950</i>		<i>1951-1970</i>		<i>Posterior a 1970</i>	
	<i>Urbana</i>	<i>Rural</i>	<i>Urbana</i>	<i>Rural</i>	<i>Urbana</i>	<i>Rural</i>
<i>Àrea de situació</i>						
< 5 plantes	232.740	31.119	212.070	16.304	315.504	37.346
= 5 plantes	7.065	9	14.083	24	11.937	22
> 5 plantes	12.699	2	21.963	33	22.028	44

TAULA 2. *Classificació dels edificis de Catalunya agrupats segons edat, alçada i situació urbana en diferents percentatges de classes de vulnerabilitat de l'EMS-92*

Alçada	Any de construcció					
	Fins a 1950		1951-1970		Posterior a 1970	
	Àrea		Àrea		Àrea	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
< 5 plantes	20% A	30% A	5% A	15% A		5% A
	80% B	70% B	50% B	70% B		20% B
			45% C	15% C	85% C	65% C
				15% D	10% D	
= 5 plantes	20% A	40% A	10% A	20% A	5% A	10% A
	80% B	60% B	60% B	70% B	20% B	30% B
			30% C	10% C	65% C	55% C
				10% D	5% D	
> 5 plantes	40% A	60% A	15% A	30% A	8% A	15% A
	60% B	40% B	70% B	65% B	27% B	45% B
			15% C	5% C	60% C	40% C
				5% D		

Aplicant aquesta classificació a tots els edificis de Catalunya s'ha obtingut que la majoria corresponen a les classes de vulnerabilitat B i C, amb un 40 i un 45 %, respectivament. Per tant, els percentatges més baixos corresponen a les classes de vulnerabilitat, més i menys vulnerable, A i D, amb una representació d'un 9 i 6 % cadascuna. La mateixa classificació fou també aplicada a cadascun dels municipis de Catalunya, amb la qual cosa s'obtingueren els percentatges de les classes de vulnerabilitat A, B, C i D presents en cada municipi.

Com a exemple, a la figura 6 es mostra la distribució de la classe C per a tots els municipis de Catalunya. Arriba a percentatges que oscil·len entre 65 % i 81 %, els quals s'observen en més de cinquanta municipis. El rang observat en la majoria de municipis està comprès entre 33 % i 48 %.

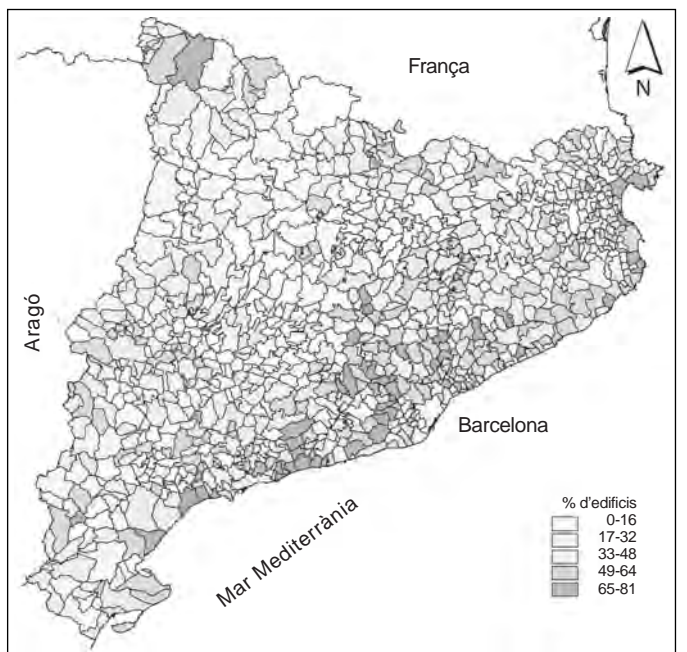


FIGURA 6. Distribució per comarques del percentatge d'edificis de la classe de vulnerabilitat C.

RISC I ESCENARIS DE DANYS

L'estimació del dany que podrien experimentar les edificacions d'habitatge dels diferents municipis es realitza considerant per a cada municipi la intensitat determinada en el mapa de zones sísmiques, tenint en compte l'efecte del sòl, mitjançant unes matrius de probabilitat de danys que han estat determinades per a les classes de vulnerabilitat A, B, C, D, E i F, els graus de danys de 0 (no dany) a 5 (col·lapse total) i els graus d'intensitat (de VI a X) de l'escala EMS-98.

Com a resultat de l'avaluació del dany físic s'obté el nombre d'edificis de cada municipi distribuït segons els diferents graus de danys. Així es poden fer estimacions del nombre d'edificis que podrien quedar en condicions inhabitables, avaluacions de les pèrdues econòmiques i, mitjançant correlacions obtingudes en diferents àrees del món, es pot fer una estimació del possible nombre de ferits i de víctimes. Tot això constitueix l'avaluació del risc, necessari per a la planificació.

D'altra banda, quan es produeix un terratrèmol, per organitzar l'emergència és important disposar d'una estimació ràpida de les possibles conseqüències sobre persones, serveis i edificis. Per això s'ha posat al punt un procés de càlcul automàtic basat en el coneixement de la posició i magnitud del sisme i en les dades bàsiques del cens d'edificis i de població, que permet una avaluació de les possibles intensitats percebudes als diferents municipis, del possible nombre de persones que han percebut el sisme i de l'àrea afectada per cada intensitat. Si el terratrèmol tingués una intensitat suficient per produir danys, el mètode també permet realitzar una estimació dels danys als edificis, dels possibles danys personals i de les pèrdues econòmiques. Aquest mètode, en combinació amb el sistema automàtic de localització de la nova xarxa sísmica (<http://www.icc.es/sismes>) amb transmissió de dades en temps real, via satèl·lit, tindrà molta utilitat en la gestió d'emergències.

CONCLUSIONS

S'ha presentat un breu resum sobre els riscos naturals, s'han definit i comentat els conceptes bàsics per analitzar-los i s'han presentat alguns exemples de les metodologies i eines que s'utilitzen.

Els estudis de risc que aquí s'han enumerat requereixen una estreta col·laboració d'equips científics que cobreixin

diferents disciplines (geologia, sismologia, enginyeria, arquitectura, cartografia, etc.). També és molt important comptar amb la participació activa dels tècnics de les administracions, en particular en els àmbits d'edificació, infraestructures i gestió d'emergències, perquè no només subministrin dades o promulguin directrius, sinó que s'integrin en els equips de treball. Aquesta aproximació ha estat la pauta seguida en els últims anys per portar a terme la major part dels treballs aquí exposats.

Actualment tenim a la nostra disposició els coneixements científics i la tecnologia suficient per poder posar en pràctica les mesures de prevenció i mitigació del risc adequades. Però cal aprofundir més en la cultura del risc (de la reducció del risc) i abandonar definitivament la incultura del desastre. Aquest ha de ser un procés en el qual tots els agents socials han d'estar compromesos i en el qual l'educació és un factor fonamental.

REFERÈNCIES

- CARDONA, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 322 p. [Tesi doctoral]
- CID, J.; SUSAGNA, T.; GOULA, X.; CHAVARRÍA, L.; FIGUERAS, S.; FLETA, J.; CASAS, A.; ROCA, A. (2001). «Seismic zonation of Barcelona based on numerical simulation of site effects». *Pure appl. geophys.*, núm. 158, p. 2559-2577.
- CHÁVEZ, J. (1998). *Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: aplicación a Cataluña*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 343 p. [Tesi doctoral]
- CHÁVEZ, J.; GOULA, X.; ROCA, A.; MAÑÀ, F.; PRESMANES, J.;

- LÓPEZ-ARROYO, A. (1998). «Preliminary risk assessment for Catalonia (Spain)». A: *Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering*. París. [CD-ROM]
- CROSETTO, M.; TSCHERNING, C. C.; CRIPPA, B.; CASTILLO, M. (2002). «Subsidence monitoring using SAR interferometry: reduction of the atmospheric effects using stochastic filtering». *Geophysical Research Letters*, vol. 29, núm. 9, p. 26-29.
- «Directriz básica de planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones». *Boletín Oficial del Estado* (14 febrer 1995).
- «Directriz básica de planificación de Protección Civil ante el riesgo sísmico». *Boletín Oficial del Estado* (25 maig 1995).
- FLETA, J.; ESTRUCH, I.; GOULA, X. (1998). «Geotechnical characterization for the regional assessment of seismic risk in Catalonia». A: *Proc. 4th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society*. Barcelona, p. 699-702.
- GARCÍA, C.; GAVALDÀ, J.; JARA, J. A.; MARTÍNEZ, P. (2002). «An automatic snow and weather stations network for the avalanche prediction in the Catalan Pyrenees». *Proc. Tercer Congreso Internacional de Estaciones Meteorológicas Automáticas*. [En premsa]
- GARCÍA, C.; OLLER, P.; MARTÍ, G. (1996). *Guia d'utilització del Butlletí de Perill d'Allaus*. Institut Cartogràfic de Catalunya. 39 p.
- GRÜNTAL, G. [ed.] (1998). «European Macroseismic Scale 1998». *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie* [Luxemburg], vol. 15. [99 p.]
- HANSEN, R. F. (2001). *Radar Interferometry*. Holanda: Kluwer, Dordrecht. 308 p.
- MARTÍ, G.; MASES, M.; OLLER, P.; PAZ, A. de; MARTURIÀ, J. (1997). «The avalanche cadastre management using GIS in the Catalan Pyrenees». A: *Proc. 2nd Congress on Regio-*

- nal Geological Cartography and Information Systems*.
Barcelona: ICC, p. 205-210.
- MARTÍ, G.; OLLER, P.; GARCÍA, C.; MARTÍNEZ, P.; ROCA, A.
(2001). «The avalanche paths cartography in the Catalan
Pyrenees». A: *Proc. II High Mountain Cartography Work-
shop*. Àustria: Rudolfshütte, p. 255-264.
- MUNICH Re. (1998). *Topics*.
- NÁJERA, A. (1999). *Las catástrofes naturales y su cobertura
aseguradora. Un estudio comparativo*. Madrid: Consorcio
de Compensación de Seguros. 263 p.
- OLIVERA, C.; RIERA, A.; LAMBERT, J.; BANDA, E.; ALEXANDRE, P.
(1994). *Els terratrèmols de l'any 1373: efectes a Espanya
i França*, mem. núm. 3. Barcelona: Servei Geològic de
Catalunya. 220 p.
- OLIVERA, C.; REDONDO, E.; RIERA, A.; LAMBERT, J.; ROCA, A.
(1998). «Problems in assessing focal parameters to earth-
quake sequences from historical investigation: the 1427
earthquakes in Catalonia». A: *Proc. I Asambleu Hispano-
Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. [CD-ROM]
- ROCA, A.; GOULA, X.; SUSAGNA, T. (1999). «Zonación sísmica
a diferentes escalas. Microzonación». *Física de la Tierra*,
núm. 11, p. 203-236.
- SECANELL, R. (1999). *Avaluació de la perillositat sísmica a
Catalunya: Anàlisi de sensibilitat per a diferents models
d'ocurrència i paràmetres sísmics*. Barcelona: Universitat
de Barcelona. 335 p. [Tesi doctoral]
- SECANELL, R.; GOULA, X.; SUSAGNA, T.; FLETA, J.; ROCA, A.
(1998). «Analysis of seismic hazard in Catalonia (Spain)
through different probabilistic approaches». A: *Eleventh
European Conference on Earthquake Engineering*. París.
[CD-ROM]
- SUSAGNA, T.; GOULA, X. (1999). «Catàleg de sismicitat». *Atlas
Sísmic de Catalunya*. Vol. I. Institut Cartogràfic de Cata-
lunya. 436 p.

- SUSAGNA, T.; GOULA, X.; ROCA, A. (2001). «A new macroseismic catalogue for Catalonia». A: GLADE, T. [*et al.*] [ed.]. *The use of historical data in natural hazard assessments*. Kluwer, p. 71-79.
- SWISS RE. (2000). *Sigma*, núm. 2.
- TEIXIDÓ, T. (2000). *Caracterització del subsòl mitjançant sísmica de reflexió d'alta resolució*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 248 p. [Tesi doctoral]
- TEIXIDÓ, T.; BENJUMEA, B. (2002). «Utilización de configuraciones alternativas frente a la técnica CMP para la detección de cavidades en una zona urbana». A: *Proc. Primer Centenario del Observatorio de Cartuja*. Granada: Universidad de Granada. [CD-ROM]

**SOCIETAT CATALANA
DE QUÍMICA**

LA QUÍMICA: UN LLIGAM

INDEFUGIBLE

ENTRE LA TERRA I EL MEDI

ELS COMPOSTOS ORGÀNICS

PERSISTENTS EN EL MEDI.

EL REPTE D'UNA ACCIÓ GLOBAL,

A CÀRREC DE

JOAN ALBAIGÈS,

DEL CONSELL SUPERIOR

D'INVESTIGACIONS CIENTÍFIQUES

INTRODUCCIÓ

Els compostos orgànics persistents són un grup de substàncies que, en diversa mesura, resisteixen la degradació química o biològica. Es tracta bàsicament de compostos halogenats, que presenten una baixa hidrosolubilitat i una alta liposolubilitat, de manera que poden passar amb facilitat al teixit adipós dels organismes vius. Estudis de laboratori i de camp han mostrat que la majoria produeixen trastorns endocrins, disfuncions reproductores i immunitàries, alteracions en el neurocomportament i, fins i tot, càncer, essent els estadis primers del desenvolupament de l'organisme els més vulnerables a la seva acció, de manera que poden incidir negativament en el creixement, en el desenvolupament neurològic i en la resposta immunològica.

64

D'altra banda, són també semivolàtils, de manera que poden recórrer llargues distàncies a través de l'atmosfera abans de dipositar-se als sòls o al medi aquàtic. Aquestes propietats de persistència i volatilitat, juntament amb altres característiques, fan que es trobin en tots els indrets del planeta, per allunyats que siguin del seu lloc de producció o ús, i que els organismes vius s'hi trobin exposats de manera totalment involuntària.

Per totes aquestes circumstàncies, i seguint les recomanacions del Fòrum Intergovernamental sobre Seguretat Química (IFCS), el Consell de Govern del Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient (UNEP) va decidir, el febrer de 1997, endegar una acció internacional per tal d'eliminar o almenys reduir significativament les emissions i descàrregues de tots aquells compostos que la comunitat científica identificà com a causa de seriosos problemes per a la salut humana i el medi ambient, a escala global. Es va establir un comitè de negociació amb l'encàrrec de preparar un instrument legal, jurídicament vinculant per a tots els

estats, per implementar una actuació decidida en aquest sentit. Les corresponents negociacions conduïren, el 23 de maig de 2001, a l'adopció de l'anomenat Conveni d'Estocolm, en una conferència intergovernamental de les Nacions Unides, celebrada precisament a Estocolm, amb la participació de més de cent països.

Simultàniament, el Consell de Govern de l'UNEP va veure la necessitat de desenvolupar els criteris científics i els procediments per tal d'identificar els compostos que haurien de ser objecte del Conveni, ara i en el futur. Per això, amb finançament de la GEF (Global Environment Facility) i de diversos països, va endegar un ambiciós projecte a escala mundial per avaluar les fonts d'aquests compostos, els nivells en els diversos compartiments ambientals, els efectes sobre els ecosistemes i la salut humana, les alternatives existents, i els obstacles per a la seva substitució i gestió en les diferents regions del món. Tota la documentació generada per aquest projecte és accessible a través d'Internet (UNEP, 2002).

65

L'ACCIÓ INTERNACIONAL

Els esforços polítics en l'àmbit internacional per reduir l'impacte ambiental dels compostos orgànics persistents tenen el seu punt d'inflexió en el ja citat Conveni d'Estocolm. Aquest Conveni identifica una primera llista de dotze compostos (coneguda amb el nom de *dirty dozen*) (vegeu la figura 1), i està formada per:

- vuit pesticides agrícoles: aldrín, dieldrina, endrina, mirex, heptaclor, toxafè, clordà i DDT,
- dos compostos industrials: PCB i hexaclorobenzè,
- dos compostos produïts accidentalment: dioxines i furans.

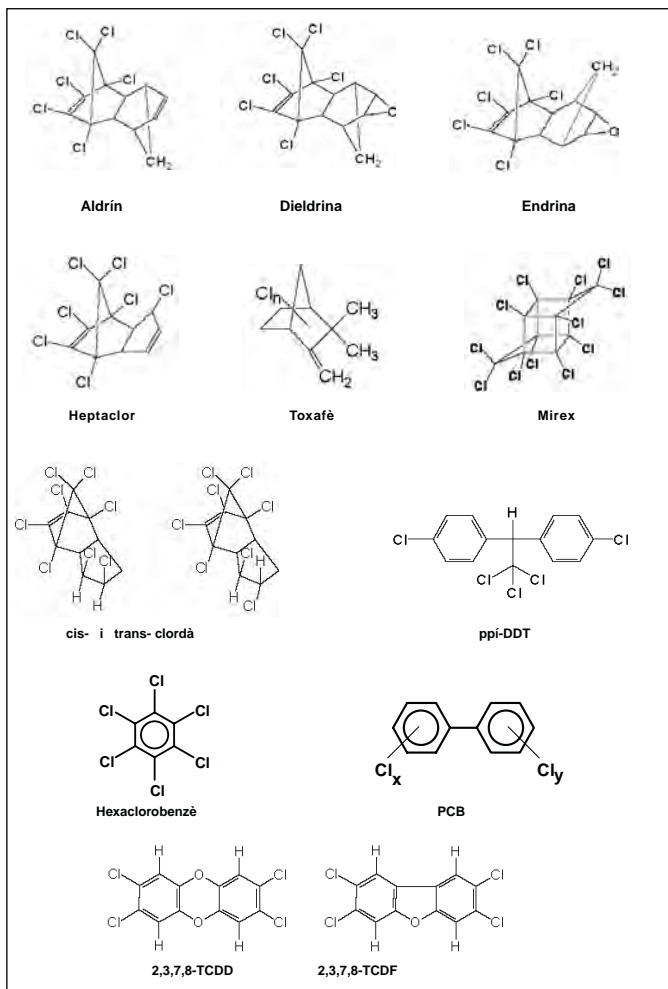


FIGURA 1. Els dotze compostos inclosos en el Conveni d'Estocolm.

Els deu primers compostos, excepte el DDT, estan inclosos en l'annex A, que implica el cessament complet de la seva producció, comerç i ús. L'acord no només en prohibeix

la producció, sinó que obliga a destruir-ne tots els estocs disponibles i els equipaments que en puguin tenir, com és el cas dels transformadors elèctrics amb olis de PCB, que hauran d'estar eliminats el 2025.

El DDT figura a l'annex B del Conveni, relatiu als compostos d'ús restringit. El DDT és acceptat com a intermediari en la síntesi del dicofol i en la lluita de vectors de malalties infeccioses, com la malària, mentre no es disposi d'alternatives més eficients i accessibles per als països en desenvolupament. Alguns d'aquests països han demanat, també, una moratòria per a alguns dels pesticides considerats en l'annex A.

Finalment, un tercer annex (C) es refereix a la reducció de les emissions accidentals de compostos orgànics persistents, com és el cas de les dioxines i els furans, tenint cura de les pràctiques que els produeixen, com la incineració de residus o la combustió a cel obert o en instal·lacions industrials (fàbriques de ciment, metal·lúrgiques, etc.), entre d'altres.

El Conveni està concebut com un instrument legal obert, de manera que preveu la incorporació de noves substàncies, d'acord amb uns principis d'avaluació establerts. De fet, en la fase de negociació diversos països europeus proposaren la inclusió d'altres compostos, com l'hexaclorociclohexà (lindane), els bifenils polibromats (emprats com a retardants de flama), els hidrocarburs aromàtics policíclics (PAH) i la clordecona. Un altre producte que també s'ha considerat, per cert, amb un forta resistència dels sectors industrials, és el pentaclorofenol. En canvi, en el cas dels polibromobifenils, han estat els mateixos fabricants els qui, com a mesura de precaució, ja n'han aturat la producció.

El Conveni està obert a la ratificació dels estats membres i entrarà en vigor quan sigui ratificat per cinquanta estats. El primer a ratificar-lo fou el Canadà i fins al moment ho han fet vint-i-tres estats més.

Abans que aquesta iniciativa es fes realitat, la comunitat internacional ja havia expressat la seva preocupació per l'elevat consum, molt sovint incontrolat, d'aquests productes i va establir un codi de conducta per a la seva distribució comercial. Aquest codi, adoptat per la FAO el 1985, reconeix que molts països han d'importar pesticides sense una infraestructura adequada per controlar-ne la disponibilitat i accessibilitat. En aquestes circumstàncies, els productors, exportadors i importadors internacionals, així com els formuladors, envasadors i distribuïdors locals, han d'acceptar compartir la responsabilitat de la seguretat i l'eficiència en l'ús dels mateixos.

El 10 de setembre de 1998 aquest codi fou incorporat al Conveni de Rotterdam sobre el consentiment previ (Prior Informed Consent, PIC) en el comerç internacional d'aquells productes que la FAO i el Registre Internacional de Compostos Tòxics (IRPTC/UNEP) estipulessin. Val a dir que entre aquests productes hi ha l'aldrín, la dieldrina, l'heptaclor, el clordà, el DDT, l'HCB i el PCB. Segons el Conveni de Rotterdam, cap pesticida d'ús prohibit o restringit per raons de salut pública o ambientals no pot ser exportat a un país sense permís exprés del país en qüestió.

D'altra banda, el Conveni de Basilea, adoptat el 1989 i ratificat el 1992, regula el moviment transfronterer de substàncies perilloses i la disposició dels residus. El Conveni obliga les parts signants a manipular d'una manera respectuosa amb el medi ambient els residus perillosos, quan es mouen a través de les fronteres dels països, i prohibeix, específicament, l'exportació d'uns països a uns altres per emmagatzemar-los. En aquest sentit, és clar que algunes de les pràctiques de països del primer món consistents a exportar residus de pesticides obsolets a països del Tercer Món contravenen aquest Conveni.

Els països de la Unió Europea estan, a més, vinculats pel Protocol d'Aarhus (1998), associat al Conveni sobre transport a llarga distància de contaminants atmosfèrics, per

tal d'eliminar les descàrregues i emissions d'una llarga llista de productes, inclosos els dotze del Conveni d'Estocolm.

El principal problema de totes aquestes normes internacionals és la manca d'estructures de gestió adequades en molts països en vies de desenvolupament, la qual cosa en fa difícil l'estricta aplicació.

PROPIETATS I COMPORTAMENT DELS COMPOSTOS ORGÀNICS PERSISTENTS

Les principals característiques que comparteixen aquestes substàncies són:

- la seva persistència en el medi,
- la capacitat de bioacumulació,
- la toxicitat,
- la possibilitat de ser transportades a llarga distància (transport transfronterer).

69

Es considera que un compost és persistent quan té una vida mitjana a l'aigua de més de dos mesos, o de més de sis mesos en els sòls i els sediments. Es poden incloure també en aquesta categoria compostos que, tot i ser menys persistents, pel seu continu alliberament al medi hi siguin sempre presents en quantitats perilloses.

Es considera una substància amb capacitat de bioacumulació quan el factor de bioconcentració (la relació entre la concentració en l'organisme i en el medi de referència) és superior a 5.000 o bé quan el coeficient octanol-aigua és superior a 100.000 ($\log K_{ow} > 5$). Això indica que el compost tindrà una major afinitat pels teixits greixosos que per l'aigua i que, per tant, tendirà a bioacumular-se. Combinada amb aquesta característica hi ha el fenomen de la biomagnificació, segons el qual

les concentracions aniran augmentant al llarg de la cadena tròfica. Així, per exemple, als arrossars del delta de l'Ebre, trobem el següent gradient de concentracions mitjanes de PCB i DDT (en ng/g de pes sec), respectivament: insectes aquàtics (55/68), peix mosquit (100/110), anguila (235/190), carpa (455/170), agró roig (3.200/1.400) (Pastor *et al.*, no publicat).

Pel que fa a la toxicitat, no es tracta només de la toxicitat aguda per una exposició sobtada a una gran quantitat de producte (intoxicació) sinó, sobretot, de la toxicitat crònica, és a dir, dels efectes produïts per una exposició subletal continuada, però amb conseqüències a llarg termini. S'han realitzat nombrosos experiments de laboratori que demostren una estreta relació causa-efecte en l'exposició d'animals a aquests contaminants i certes disfuncions biològiques. A la taula 1 es mostren els efectes produïts per la *dirty dozen*. De totes maneres, la confirmació d'aquests efectes en estudis de camp és més aviat limitada, tenint en compte que els organismes vius estan, normalment, exposats a diversos contaminants de manera simultània.

TAULA 1. *Efectes potencials dels compostos orgànics persistents (PANNA, 2002)*

Tipus d'efectes	Aldrin i dieldrina	Clordà	Toxafè	Mirex	DDT	HCB	PCB	PCDD i PCDF	HCH	Endosulfà	PBDE	TBT
Reproducció i desenvolupament	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Sistema Citocrom P450	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
Porfiria						x	x	x				
Sistema immune	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Efectes adrenèrgics			x		x				x			
Efectes tiroïdals			x		x	x	x	x	x		x	
Mutagènics												
Carcinogènics	x	x	x	x		x	x	x	x	x		
Alteracions òssies			x				x	x				

Finalment, s'entén que un compost pot ser objecte de transport a llarga distància quan té una pressió de vapor inferior a 1.000 Pa i una vida mitjana a l'atmosfera superior als dos dies. Aquesta volatilitat moderada fa que la substància no es quedi permanentment a l'atmosfera, on presentaria un risc baix per als éssers vius, sinó que pugui volatilitzar-se a les regions càlides i condensar-se a les més fredes, i així anar-se distribuint pels diferents compartiments ambientals del planeta. Una constatació d'aquest fenomen serà la seva presència en regions allunyades del seu ús.

Fins al moment, s'ha identificat un primer grup de dotze compostos que tenen aquestes característiques, i que s'han inclòs en el Conveni d'Estocolm (vegeu la figura 1), però hi ha altres candidats, com el lindane, el polibromobifenil i polibromobifenil-èter (PBB i PBBE), les parafines clorades, el pentaclorofenol, etc.

71

EL TRANSPORT A LLARGA DISTÀNCIA

La persistència d'aquests compostos fa que els processos de transport dominin sobre els de degradació i que en regulin el comportament en el medi. Altres propietats fisicoquímiques comunes fan que es distribueixin de manera equilibrada en els diversos compartiments ambientals (aire, aigua i sòls), la qual cosa fa que puguin anar passant dels uns als altres, i afectar l'ambient en la seva globalitat. A la figura 2 s'il·lustren els processos de transport atmosfèric i de deposició sobre el medi marí, que afecten aquests contaminants.

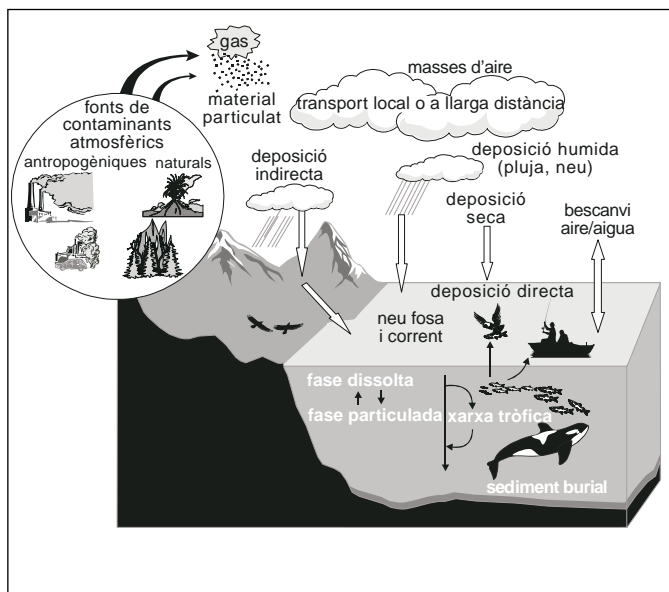


FIGURA 2. *Transport atmosfèric de contaminants i processos de bescanvi amb el medi marí (WHO/UNEP/ILO International Programme on Chemical Safety, 2001).*

Estudis duts a terme durant els anys vuitanta i noranta identificaren que el transport a llarga distància tenia un paper important en la distribució dels contaminants orgànics persistents a l'hemisferi nord. Estudis més recents s'han centrat en la seva distribució global i a confirmar la hipòtesi de «l'efecte llagosta» («grasshopper effect»), per explicar el transport d'aquests contaminants des de les regions equatorials cap a les polars. Aquest transport es deu, en part, a continuats processos de volatilització i condensació, amb una migració més ràpida en el cas dels compostos més volàtils, com el lindane o l'hexaclorobenzè, i més lenta en els més pesants, com el DDT. Això darrer permet que altres mecanismes de transport, com els cor-

rents oceànics, influeixin també en la distribució dels contaminants i que els gradients de concentració no siguin tan pronunciats per a aquests compostos (Mackay i Wania, 1995).

A la figura 3 es pot veure aquest contrast en dos dels pesticides utilitzats als tròpics, especialment a l'Índia i al Sud-est asiàtic, el lindane i el DDT. Mentre el primer es troba en concentracions molt més elevades a les regions pròximes al Pol Nord, el segon no migra de manera tan significativa (Iwata *et al.*, 1993). D'altra banda, és interessant de veure com les diferents propietats fisicoquímiques condicionen la seva acumulació a la cadena tròfica. Mentre la major part del lindane es troba en el medi abiòtic (aire i aigua), els compostos més lipòfils, com el clordà, els PCB o el DDT, es biomagnifiquen en els mamífers marins (vegeu la figura 4). En qualsevol cas, queda clar que les regions polars constitueixen uns reservoris per a aquests contaminants i que seran els darrers testimonis de la seva desaparició del planeta.

73

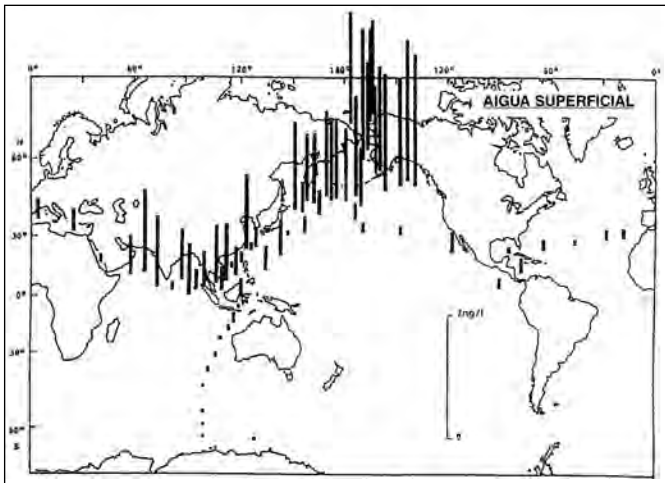


FIGURA 3a. Distribució de les concentracions d'HCH a l'aigua superficial del mar (Iwata *et al.*, 1993).

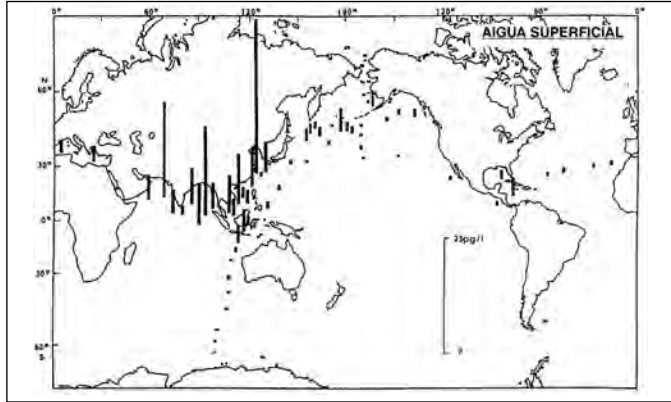


FIGURA 3b. Distribució de les concentracions de DDT a l'aigua superficial del mar (Iwata et al., 1993).

74

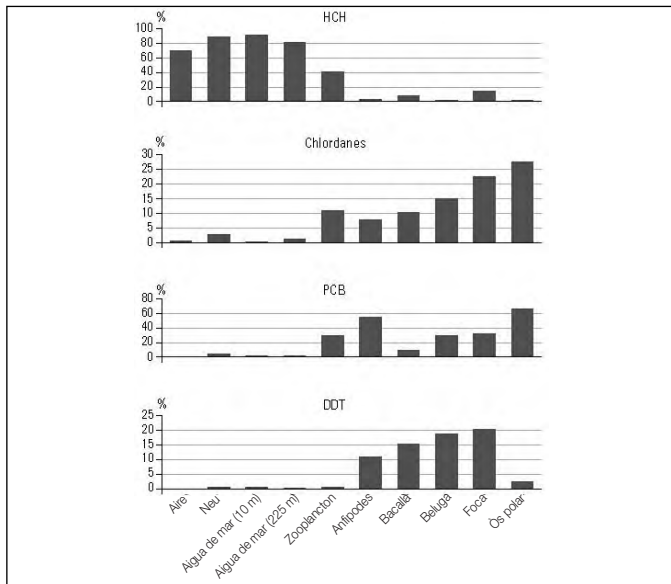


FIGURA 4. Distribució de diferents contaminants orgànics persistents en compartiments biòtics i abiòtics antàrtics (AMAP, 1998).

Des que s'adoptaren severes mesures restrictives en l'ús d'aquests compostos, als anys setanta, els nivells ambientals han anat disminuint significativament, per bé que no es disposa de gaires programes de vigilància de llarga durada. Les dades més clares són les dels peixos i aus de presa dels Grans Llacs, que han vist recuperades les seves poblacions, així com algunes espècies del Bàltic, com per exemple la perca, el bacallà o l'arengada, que és la millor espècie indicadora de la regió. També a la Mediterrània occidental les concentracions de PCB i DDT en musclos han disminuït en un factor de 5 durant els darrers quinze anys. A l'Adriàtic, però, la tendència no és tan clara per als PCB, com es pot apreciar a la figura 5, segurament a causa del menor rigor en l'aplicació de les regulacions als països balcànics (Picer i Picer, 1995).

Aquesta tendència general es reflecteix també a l'Àrtic, on les concentracions de compostos organoclorats en líquens, peixos i ous d'aus marines han anat disminuint fins a tres i quatre vegades en els darrers vint anys. La tendència, però, no és tan evident en el cas dels mamífers marins. Totes aquestes dades posen de manifest la importància de continuar amb la vigilància biològica (*biomonitoring*) per avaluar la resposta de l'ecosistema a les mesures reguladores preses.

ELS EFECTES SOBRE ELS ÉSSERS VIUS

Ja hem indicat a la taula 1 quins són els efectes biològics dels principals compostos orgànics persistents, que han estat vistos en assaigs de laboratori. Tot i que, en aquests moments, és difícil fer la mateixa associació en els organismes que viuen en llibertat, tant d'àmbit individual com de població, al llarg dels anys s'han aconseguit algunes evidències que els efectes hi són.

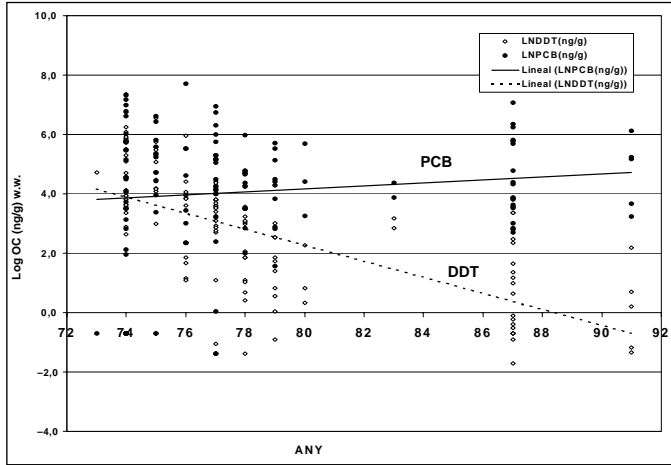


FIGURA 5. Tendència temporal de les concentracions de PCB i DDT en bivalves de la costa oriental de l'Adriàtic (Picer i Picer, 1995).

76

Un dels primers casos descoberts fou la correlació entre l'ús del DDT i el descens de les poblacions d'aus de presa, atribuït a la menor consistència de la closca dels ous per un efecte negatiu del DDT sobre el sistema endocrí de les aus, que conduïa a una pertorbació del metabolisme del calci i, per tant, a la reducció de la viabilitat dels ous.

En aquest sentit, potser un dels estudis més il·lustratius i conclouents fou el realitzat a Austràlia, on s'examinaren ous de falcó pelegrí (*Falco peregrinus*), des del 1885 fins al 1975, procedents de diverses col·leccions i museus, i es determinaren el contingut de DDT i el gruix de la closca. A la figura 6 es pot veure com ha anat canviant aquest gruix, des que el 1947 s'introdueix el DDT a l'agricultura. Abans d'aquesta data cap dels ous de falcó no tenia un gruix inferior en un 20% al de la mitjana, mentre que a partir dels anys seixanta el tenien la majoria (Connell, 1981).

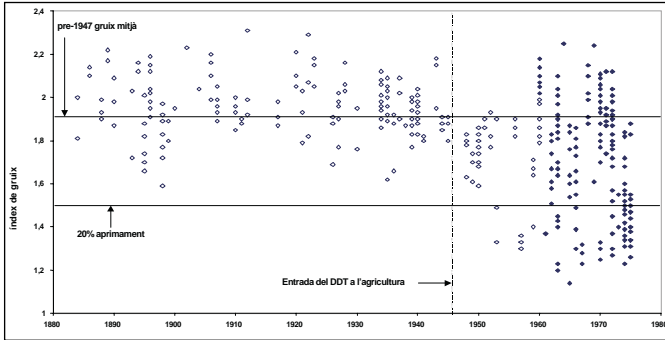


FIGURA 6. Evolució temporal del grux de les closques d'ous de falcó pelegrí (*Falco peregrinus*) a Austràlia (Connell et al., 1999).

Són diverses les regions del món en les quals s'han observat reduccions significatives de les poblacions de fauna salvatge, només explicables per la presència de xenobiòtics organoclorats. Una de les més conegudes és la dels Grans Llacs americans. Als anys setanta, onze espècies d'aus de la regió (gavines, cormorans, garses, àligues, etc.) evidenciaren seriosos problemes reproductius, amb una significativa reducció de les colònies. Totes aquestes aus s'alimentaven de peixos dels llacs que, com després es va demostrar, contenien quantitats significatives de contaminants organoclorats, com DDT, PCB i HCB (Environment Canada, 2000).

També és conegut que la fauna polar està considerada, en general, com la de major risc d'exposició (vegeu la figura 4). Es dona, a més, la circumstància que amb la remobilització de lípids que es produeix durant el període d'hivernació, els contaminants acumulats en el teixit adipós poden migrar cap a òrgans més sensibles i poden afectar funcions vitals. Per això, s'estan duent a terme estudis de vigilància, principalment dels mamífers marins.

A Europa són coneguts els casos del descens de poblacions de la llúdrega (*Lutra lutra*) o els problemes de feminit-

zació de peixos mascles en molts rius europeus. El descens de les poblacions d'aus marines, de la fecunditat del bacallà al Bàltic o de les balenes del Wadden Sea (Holanda) han estat explicats també per la presència de xenobiòtics lipòfils en els seus teixits (Petersen *et al.*, 1997). En anys recents, diverses espècies de mamífers marins s'han vist afectades per malalties estranyes o per mortalitats inusuals. Així, l'any 1990 s'observà un increment d'espècies mortes de dofí llistat a les costes italianes, com a conseqüència d'una infecció vírica. Una de les hipòtesis que es plantejà per explicar-ho fou la de la depressió de les defenses immunitàries per causa dels PCB, que produïa un augment de la susceptibilitat dels individus per la infecció viral.

Pel que fa als efectes sobre la salut humana, falta molt encara per conèixer-los amb precisió. No es tracta tant del risc derivat, per exemple, de les exposicions ocupacionals agudes, com de les exposicions cròniques, moltes vegades inadvertides, de la població en general. Les primeres estan prou documentades, com la intoxicació per HCB en una regió sud-oriental de Turquia, que va provocar la mort del 90 % de la població afectada i nombrosos casos de cirrosi hepàtica, porfíria i altres trastorns relacionats amb l'exposició.

A la regió del Grans Llacs, dels EUA i el Canadà, estudis epidemiològics duts a terme després de constatar l'evidència dels efectes sobre la fauna aquàtica que hem descrit abans, arribaren a la conclusió, el 1985, que determinats efectes neurològics, endocrinològics, immunològics i reproductius observats en la població, podien estar associats a contaminants dels Llacs, i s'identificaren compostos del tipus DDT, dieldrina, mirex, toxafè, PCB, HCB, dioxines, benzo(a)pirè i tetraetil-plom, com els possibles causants que calia eliminar (IJC, 1987).

Estudis efectuats a Suècia indiquen que la ingestió de compostos organoclorats, com PCB, dioxines i furans, dins la

dieta alimentària, pot estar relacionada amb una reducció significativa de limfòcits a la sang de la població en general, mentre que els nens poden sofrir taxes d'infeccions (immuno-deficiències) un ordre de magnitud superior a les que presenten nens control.

Atès que, com hem vist abans, les regions polars són zones d'acumulació d'aquests contaminants, hi ha una especial preocupació pels possibles efectes sobre la reproducció i el desenvolupament de les poblacions autòctones. Certament, els nivells de compostos organoclorats trobats en greix, sang i llet materna són molt més elevats que els de les poblacions més meridionals, i són atribuïbles a una dieta rica en peix, que acumula quantitats notables d'aquells compostos (vegeu la figura 4). El Canadà i els països nòrdics han dut a terme un extens estudi analític i epidemiològic en el marc de l'Arctic Monitoring and Assessment Programme per tal d'avaluar-ne les conseqüències (AMAP, 1998).

79

LA DIFUSIÓ ACCIDENTAL DE COMPOSTOS ORGANOCLORATS

En l'apartat precedent hem vist com els compostos organoclorats poden ser transportats a llargues distàncies i ser incorporats a les cadenes tròfiques, però aquests compostos també poden ser introduïts en el medi per causes accidentals.

En un estudi dut a terme sobre la població del suburbi d'Istoca, al Departament de Choluteca (Hondures), després de l'huracà Mitch (30-31 d'octubre de 1998), que portà l'anàlisi de contaminants en aigua i sòls, i també en sang i orina d'adolescents de 15-18 anys, així com una avaluació subjectiva de 155 habitatges, els investigadors trobaren continguts elevats de pesticides organoclorats i organofosforats en la població analitzada. L'anàlisi toxicològica de mostres de sèrum indicà que el 51% dels habitants tenien

nivells de pp-DDE d'entre 1,2 i 96,9 ng/mL (la referència mitjana per un adult als EUA és de 3,5 ng/mL). D'altra banda, el 23% de les mostres tenien presència de dieldrina en concentracions superiors als 0,2 ng/mL, que és el límit de base de la població americana. Tanmateix, el DDE era present en 130 de les 138 mostres analitzades de llet materna, a nivells compresos entre 1 i 160 ng/L. Algunes mostres presentaren altres pesticides com el δ -HCH o l'heptaclor epòxid en concentracions d'entre 1 i 5 μ g/L. Aquests nivells tan elevats eren sorprenents, ja que feia quinze anys que l'ús de compostos organoclorats havia estat prohibit a Hondures. Investigacions posteriors posaren de manifest l'existència de grans quantitats d'aquests productes emmagatzemats en males condicions, que foren arrossegats per l'huracà i contaminaren els conreus i els corrents d'aigua superficial.

Però no han estat només els desastres naturals la causa de contaminacions massives de la població. Els conflictes bèl·lics també ho han estat. És ben conegut que les impureses de dioxines i furans que contenien els defolians 2,4-D i 2,4,5-T, àmpliament usats en la guerra del Vietnam (1961-1971), són encara presents en l'ambient i en la població vietnamites. Recentment, Hoang Dinh Cau (2002) ha descrit que, a part de les grans àrees de vegetació que foren destruïdes i que encara no s'han recuperat, la fauna salvatge s'ha reduït en un 30%, amb espècies importants com elefants (*Elephas maximus*), cérvols (*Cervus unicolour*) i d'altres. D'altra banda, estudis realitzats al sud del Vietnam indiquen concentracions de dioxines en la sang de fins a 271 pg/g I-TEQ enfront dels 3-7 pg/g dels residents de Hanoi (Schecter *et al.*, 2001). Phuong *et al.* (1989) va poder demostrar que els nounats en les zones que havien estat tractades amb 2,4-D presentaven un índex de malformacions congènites estadísticament més elevat que no pas els de les zones de referència del nord del país.

També la intervenció de l'OTAN a Kosovo, la primavera de 1999, va tenir no solament unes conseqüències dramàtiques des del punt de vista humà, sinó també per al medi ambient. L'atac selectiu a objectius estratègics, com eren les centrals elèctriques, va produir importants destrosses a més de mil transformadors, que contenien olis de PCB. Nombrosos aqüífers foren contaminats (les aigües del riu Lepenica, a Sèrbia, tenien 18 ng/L de PCB) i els sòls de nombroses poblacions no poden ser utilitzats per a cap activitat urbana o agrícola.

USOS I ALTERNATIVES

Els compostos que hem estat considerant han format part de la societat moderna, contribuint al seu progrés i desenvolupament, en l'agricultura, la salut, els béns de consum, etc. Tot i això, la seva persistència en el medi i, a llarg termini, els seus efectes negatius sobre els éssers vius, han obligat a haver-ne de prescindir o de restringir-ne l'ús de manera dràstica. Amb tot i que a finals dels setanta ja estaven regulats (prohibits o restringits), a la major part dels països del món, les informacions disponibles indiquen que alguns se segueixen utilitzant, per bé que se'n desconeixen les dades precises, així com els estocs existents en els diferents països. Diversos organismes internacionals, com la FAO, la UNECE o el Banc Mundial han començat a fer-ne inventaris, però la seva actualització topa amb nombroses dificultats a causa de la manca d'informació.

A això s'hi han d'afegir els nombrosos obstacles que existeixen per a l'adopció d'alternatives, especialment en els països en desenvolupament, probablement originades per:

- actituds socials que afavoreixen l'ús dels productes tradicionals,
- escassa difusió dels productes o tecnologies alternatius,
- pobra formació de la població, la qual cosa dificulta la difusió de qualsevol tipus d'informació,
- altres factors relacionats amb la producció i comercialització dels productes, com un cost econòmic més elevat o més complexitat en l'aplicació.

En aquest sentit, les alternatives proposades en el camp dels pesticides organoclorats consisteixen en el desenvolupament i aplicació de nous compostos, com les piretrines en substitució del DDT, o la lluita integrada de plagues, incorporant mètodes biològics. És obvi que aquests sistemes són més costosos i requereixen una millor capacitació del personal, circumstàncies que en dificulten una major generalització.

També en l'àrea dels productes industrials és necessari fer esforços de substitució. La principal font de problemes ha estat generada pels PCB, no tant pels productes de recanvi, que ja existeixen (per exemple, olis minerals i de silicona, derivats clorats no tan persistents, etc.), com per la seva destrucció, imposada pels acords internacionals. Només a l'Estat espanyol es compta que hi ha més de 200.000 tones de materials contaminats per PCB, que s'hauran d'eliminar abans del 2025. Les tecnologies de destrucció, principalment la incineració, són cares i no estan a l'abast de tots els països. Altres alternatives estan encara en fase de R & D.

Pel que fa als compostos produïts accidentalment, com dioxines i furans, les estratègies de reducció són especialment importants. Aquestes exigeixen canvis en els processos tecnològics com els següents:

- prendre mesures per millorar els processos de combustió de tot tipus,
- substituir els materials que poden ser font de dioxines i furans, com els additius clorats o bromats en els retardants de flama dels plàstics,
- utilitzar tecnologies més netes (per exemple, en la producció de paper),
- reduir els residus generadors de dioxines o reciclar-los abans de destruir-los,
- separar els materials generadors de dioxines dels residus, abans de la seva incineració.

És evident que no tots els països estan en condicions d'implementar aquestes opcions. A les barreres esmentades abans s'hi ha d'afegir la manca d'infraestructures reguladores i de gestió en molts d'ells. Molt sovint, es comet l'error d'intentar simplement reproduir arreu les existents en els països més desenvolupats, quan aquestes poden no ser adaptables o apropiades a les condicions socioeconòmiques dels països en vies de desenvolupament. Cal fer, doncs, un especial esforç d'adaptació perquè els limitats recursos humans i financers no siguin un obstacle per fer-les funcionar. Els organismes internacionals hi poden tenir un paper important.

83

CONCLUSIÓ

El problema dels compostos orgànics persistents ha posat de relleu, no només el fet que la contaminació no reconeix fronteres, sinó la necessitat de trobar formes de gestió global per al manteniment de la qualitat de vida en el planeta. La gran diversitat de sistemes polítics i econòmics existents en el món, així com les grans diferències històriques i culturals entre els

països, comporten implicacions significatives per a l'establiment d'estàndards ambientals comuns. D'entrada, hi ha una estreta relació entre el PNB d'un estat i la seva despesa en control i gestió ambientals. Les dades indiquen que els països que no poden satisfer les necessitats bàsiques dels seus ciutadans, no poden distreure recursos per a la gestió ambiental. Aquesta només és abordable quan s'ha atès un cert llinar de desenvolupament econòmic.

Tot i aquest context socioeconòmic, es poden crear noves oportunitats d'avenç posant més èmfasi en l'educació, en la consciència social i ambiental, a través de la cooperació social i tecnològica entre els diferents països. Les administracions haurien de ser vigilants davant el procés d'internacionalització dels mercats per tal que els aspectes ambientals no fossin menystinguts i afectessin de manera especialment negativa els països menys desenvolupats.

És clar que els països desenvolupats i els seus ciutadans tenen una gran responsabilitat en la definició dels estàndards ambientals dels productes que usen i consumeixen. El primer món ha d'assumir les responsabilitats de les actuacions que ha fet o ha deixat de fer, avui i en el passat, en aquesta matèria, i que configuren el nostre present i condicionen el nostre futur.

REFERÈNCIES

- AMAP (1998). *AMAP Assessment Report*. Noruega: Arctic Monitoring and Assessment Programme Secretariat.
- CONNELL, D. W.; MILLER, G. J.; MORTIMER, M. R.; SHAW, G. R.; ANDERSON, S. A. (1999). «Persistent lipophilic contaminants and other chemical residues in the Southern Hemisphere». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 29, núm. 1, p. 47.

- SCHECTER, A.; DAI, L. C.; PAPKE, O.; PRANGE, J.; CONSTABLE, J. D.; MATSUDA, M.; THAO, V. D.; PISKAC, A. L. (2001). «Recent dioxin contamination from Agent Orange in residents of a southern Vietnam city». *JOEM*, núm. 43, p. 435-443.
- ENVIRONMENT CANADA (2000). *Great Lakes Fact Sheet – Contaminants in Herring Gull Eggs from the Great Lakes: 25 Years of Monitoring Levels and Effects*. Canadá. <<http://www.ec.gc.ca/science/>>
- HOANG DINH CAU (2002). «Health and Environmental Problems in Vietnam after War». A: *Summaries of the Vietnam-United States Conference on Human Health and Environmental Effects on Agent Orange/Dioxin*. Vietnam: Hanoi.
- IJC (1987). «Great Lakes Water Quality Agreement as amended 1987». A: *International Joint Commission United States and Canada*. <<http://www.ijc.org/ijcweb-e.html>>
- IWATA, H.; TANABE, S.; SAKAI, N.; TATSUKAWA, R. (1993). «Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate». *Environmental Science and Technology*, núm. 27, p. 1080-1084.
- MACKAY, D.; WANIA, F. (1995). «Transport of contaminants to the Arctic: partitioning processes and models». *Science of the Total Environment*, núm. 25, p. 160-161.
- PANNA (2002). «Pesticide Action Network North America: Pesticide Database». San Francisco. <<http://www.pesticideinfo.org/>>
- PETERSEN, G. I.; GERUP, J.; NILSSON, L.; LARSEN, J. R.; SCHNEIDER, R. (1997). «Body burdens of lipophilic xenobiotics and reproductive success in Baltic cod (*Gadus morhua*, L.)». ICES CM, 1997/U:10.
- PICER, M.; PICER, N. (1995). «Levels and long-term trends of polychlorinated biphenyls and DDT in mussels collected

from the eastern Adriatic coastal waters». *Water Res. K*, núm. 29, p. 2707-2719.

PHUONG, N. T. N.; THUY, T. T.; PHUONG, P. K. (1989). «An estimate of reproductive abnormalities in women inhabiting herbicide sprayed and on-herbicide sprayed areas in the south of Vietnam, 1952-1981». *Chemosphere*, núm. 18, p. 843-846.

UNEP (2002). «UNEP/GEF Regionally based assessment of persistent toxic substances». UNEP. Ginebra. <<http://www.chem.unep.ch/pts/>>

**SOCIETAT CATALANA
DE QUÍMICA**

LA QUÍMICA: UN LLIGAM

INDEFUGIBLE

ENTRE LA TERRA I EL MEDI

QUÍMICA ECOLÒGICA.

LA QUÍMICA DE LES INTERACCIONS

ENTRE ELS ÉSSERS VIUS,

A CÀRREC DE

MAGÍ RIBA,

DE LA UNIVERSITAT DE LLEIDA

En principi l'ecologia i la química semblen disciplines difícils de casar. L'ecologia és una ciència basada en l'observació, que tracta de les interaccions entre organismes vius amb el seu hàbitat natural i suposa, essencialment, estudis de camp. Per contra, la química és una ciència experimental, que té com a objectiu estudis d'àmbit molecular i es porta a terme en un laboratori. Durant molt de temps ambdues ciències s'han desenvolupat de manera aïllada, cadascuna pel seu compte. Aquesta tendència, però, ha variat en els darrers anys, en què s'ha establert una franca col·laboració de manera altament profitosa per a ambdues.

D'aquesta manera, a l'ecòleg els coneixements bioquímics li han permès entendre millor les interaccions complexes que tenen lloc en els processos de coevolució adaptativa entre els organismes. Semblantment, al químic (i al bioquímic) els plantejaments en ecologia li han proporcionat la primera explicació racional satisfactòria de la presència dels metabòlits secundaris de les plantes. S'assumeix que aquests compostos (alcaloides, flavonoides, terpenoides, tanins, etc.), sense cap funció aparent en el metabolisme primari dels organismes, poden ser utilitzats com un mecanisme defensiu contra la predació, o com una estratègia d'adaptació a unes condicions d'estrès del medi.

D'aquesta manera neix la química ecològica, que hom pot definir com: «l'estudi dels metabòlits que intervenen en els processos de coevolució adaptativa entre organismes vius i entre aquests organismes i el seu entorn» (Harborne, 1988).

Els organismes vius es comuniquen entre si de molt diverses maneres. Existeixen sistemes de comunicació visuals, tàctils, auditius, odorífers. Aquesta darrera via és sens dubte la predominant en els animals inferiors i les plantes. En els darrers anys, gràcies a una investigació interdisciplinària, duta a terme principalment per químics i biòlegs, s'ha anat

descobrint l'existència d'un veritable llenguatge químic, codificat per compostos químic particulars, que anomenarem semioquímic, per analogia de la denominació general anglosaxona *semiochemical*, derivada del vocable grec *semeion* ('senyal') (Nordlund *et al.*, 1971). Aquestes substàncies, transmissores d'un missatge, poden classificar-se en dues grans famílies, segons que actuïn a nivell interespecífic (anomenades al·leloquímic o al·lelomonos) o intraespecífic (anomenades feromonos). L'estudi dels semioquímic és l'objectiu bàsic de la química ecològica.

Els al·leloquímic foren definits per Whittaker i Feeny (1971) com: «agents bioquímic produïts en un organisme amb efecte sobre el comportament o la fisiologia d'altres organismes vius d'espècies diferents». Constitueixen un grup molt ampli i heterogeni de substàncies que hom troba en els regnes animal i vegetal, que a la vegada pot subdividir-se en: al·lomonos, cairomonos i sinomonos.

Les al·lomonos són substàncies emeses per un organisme viu que indueixen una pauta de comportament beneficiosa per a l'emissor. Dins del grup caldria situar totes les secrecions defensives dels animals i les plantes.

Anomenem cairomonos aquelles substàncies emeses per un organisme viu que indueixen una pauta de comportament beneficiosa per al receptor. Es tracta, en general, de substàncies inicialment al·lomonos que, mitjançant un procés d'adaptació, el receptor ha après a emprar en benefici propi.

Finalment, dins del grup de sinomonos s'inclouen aquelles substàncies que en la interacció indueixen pautes de comportament que beneficien ambdós organismes. Aquest tipus de substàncies són bàsiques en les interaccions de simbiosi de la natura.

D'altra banda, les feromonos són semioquímic que actuen regulant diferents aspectes del comportament entre individus de la mateixa espècie (Karlson i Lüscher, 1959). Segons

la resposta promoguda, es parla de: feromones sexuals i de còpula, feromones d'agregació, feromones de marcatge de pista i de territori, feromones d'alarma i d'inducció a la defensa i feromones de maduració o d'inhibició. L'existència de les feromones fou confirmada per Butenandt *et al.*, (1959) quan descobriren que les femelles verges del cuc de seda (*Bombyx mori*) emeten una secreció, produïda en unes glàndules feromonals situades al final de l'abdomen, que és capaç d'atreure el mascle per a la còpula. El producte aïllat i caracteritzat com (*E,Z*)-10,12-hexadecadien-1-ol (bombikol) és la primera feromona sexual d'insectes descrita.

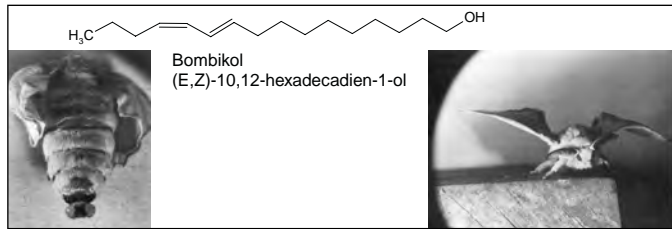


FIGURA 1. Estructura de bombikol, component de la feromona sexual de *Bombyx mori*, la primera feromona coneguda. El compost es produeix a les glàndules feromonals de la femella i és perceptible a grans distàncies pel mascle.

EL PAPER ECOLÒGIC DE LES AL·LOMONES

Tot seguit passem a comentar alguns exemples més o menys curiosos, il·lustratius del funcionament i la significació ecològica d'aquestes substàncies.

Els animals, al llarg de generacions d'evolució, han desenvolupat diferents sistemes de defensa davant els atacs d'enemics. La fugida, el mimetisme, el camuflatge o l'emissió de compostos químics perjudicials per a l'atacant són algunes d'aquestes estratègies de supervivència. De totes,

la defensa química és la via més efectiva i universal. Les toxines defensives dels animals tenen un doble origen. De vegades els animals són capaços de segrestar-les d'una font (generalment una planta), emmagatzemar-les convenientment i emprar-les en benefici propi. Seria el cas de la papallona *Monaca*, la qual, per defensar-se dels seus depredadors, utilitza substàncies, glucòsids cardenolides, que la larva ha segrestat i incorporat de la planta hoste, determinades espècies d'*Asclepies* (Duffey, 1980).

Altres vegades, en canvi, poden sintetitzar-les en glàndules especials, modificant alguna ruta biosintètica convencional. Un exemple d'aquest cas el trobem en una de les granotes més verinoses (*Phyllobates terribilis*), que disposa d'unes glàndules dorsals especialitzades en la producció d'una toxina paralitzant del sistema nerviós (Walls, 1994).



FIGURA 2. a) La papallona *Monaca* segresta glucòsids cardenolides de la planta hoste, compostos que utilitza per a l'autodefensa. b) La granota *Phyllobates* sp. produeix en les glàndules dorsals una potent toxina paralitzant del sistema nerviós, que era emprada pels nadius de certes tribus afroamericanes per preparar dards enverinats.

En moltes espècies d'escarabats fitòfags de la família *Crysmelidae*, la larva es passa el dia menjant, desenvolupant preferència per determinats tipus d'arbres salicàcies (per exemple, *Salix*). La seva desprotecció relativa la compensa

amb un eficaç sistema químic de defensa: al llarg del cos disposa de parells de glàndules dorsals, les quals, quan l'insecte és molestat, emeten, sota control del sistema nerviós, una secreció defensiva on trobem productes de la planta o lleugerament transformats, com són: *chryso-medial*, plagiolactona, aldehid salicílic, juglona, etc. (Pasteels i Rowell-Rahier, 1990).

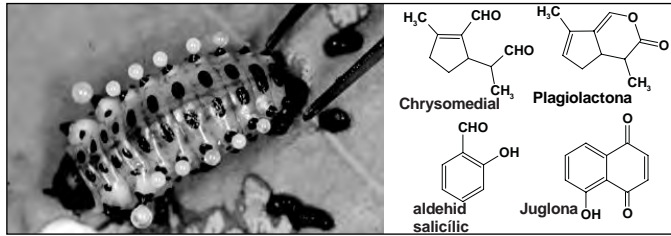


FIGURA 3. Detall de la producció de secrecions defensives en larves de crisomèlids fetes de productes extrets de diferents espècies Salicaceae, la seva planta hoste.

92

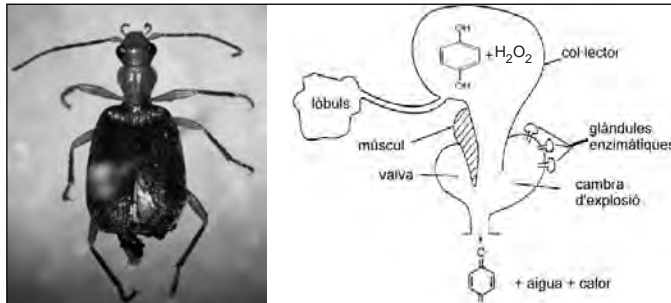


FIGURA 4. Esquema del funcionament del sistema defensiu en l'escarabat bombarder (*Brachinus* sp.).

Un altre exemple seleccionat d'entre la nombrosa bibliografia existent sobre secrecions defensives animals seria l'anomenat escarabat bombarder (*Brachinus* sp.). Aquest insecte es troba en zones calcàries d'Europa, i té un curiós sistema de-

fensiu, consistent en l'emissió d'una secreció defensiva calenta i irritant feta d'un derivat de p-quinona, acompanyada d'emissions sonores continuades, talment com trets. L'insecte disposa d'un compartiment especial on, a partir de la hidroquinona i peròxid d'hidrogen, sota catàlisi d'enzims (de tipus catalases), es produeix la quinona defensiva. La reacció és fortament exotèrmica, fet que explica les temperatures que s'assoleixen (> 130 °C) i, alhora, l'elevada tensió de vapor produïda en la cambra provoca aquestes explosions, que ajuden a generar desconcert de l'atacant i fan que s'allunyi (Eisner *et al.*, 1977a).

S'ha de dir que la defensa química no és exclusiva del regne animal, ans al contrari, és encara molt més corrent entre les plantes. A pesar de les nombroses plagues i malalties, les plantes verdes dominen el paisatge. La immobilitat obliga aquests organismes a assolir defenses químiques summament efectives per a la seva supervivència. És precisament en ambients feréstecs (selves, vegetacions tropicals, etc.) on el naturalista troba més estratègies defensives de les plantes. En aquests entorns, la subsistència de l'espècie vegetal s'ha assegurat per a la seva capacitat d'elaborar un sistema de protecció eficaç contra els nombrosos enemics als quals s'ha d'enfrontar.

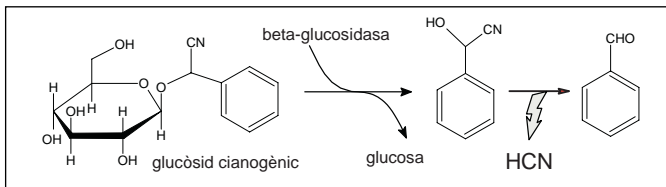


FIGURA 5. El mecanisme d'acció tòxica dels glucòsids cianogènics en plantes.

Uns dels exemples de toxines vegetals més coneguts són els glucòsids cianogènics, trobats en nombroses espècies vegetals: ametlles amargues, llavors de fruites de pinyol, fu-

lles i tiges d'algunes espècies de trèvol, corneres, lli, mandioca i, fins i tot, alguns cereals (varietats de melca, quan la planta és jove). Es tracta de glucòsids on trobem una aglicona que és un complex de cianur (una cianhidrina). En una planta sana els glucòsids són estables i formen part del teixit vegetal. La planta pot produir també, en vacúols especials de les cèl·lules vegetals, enzims capaços d'hidrolitzar els enllaços glicosídics. Quan hi ha un esquinçament del teixit, com és el cas de l'atac d'un depredador, s'alliberen els enzims, que entren en contacte amb el substrat i hidrolitzen la resta de sucre. Llavors la cianhidrina resultant no és estable i es descompon alliberant HCN, element tòxic i de dissuasió (Jones, 1972).

El paper ecològic de la cianogènesi s'ha estudiat en dues varietats de trèvol, *Trifolium repens* i *Lotus corniculatus*, varietats corrents arreu d'Europa. A aquestes varietats, els genetistes els han atribuït el mecanisme defensiu esmentat a la presència de dos gens: el responsable de l'expressió dels glucòsids i el que expressa l'enzim β -glucosidasa. Les varietats cianogenètiques han de tenir els dos gens (genotipus GE). En prospeccions de diferents poblacions s'han determinat les freqüències d'aquests genotipus arreu d'Europa i s'han trobat diferències remarcables entre ells. Un factor lligat a la freqüència sembla ser la temperatura mitjana de gener. Si aquesta supera els 5 °C (és el que passa a l'Europa del Sud) tindrem valors de freqüència del genotipus GE superiors a 70-90 %, mentre que a la Rússia central i el nord d'Europa, on la mitjana de temperatures de l'hivern és molt inferior a aquest valor, les poblacions trobades són acianogenètiques. A l'Europa del centre les poblacions són intermèdies i arriben a freqüències de cianogènesi d'entre 20-50 %. L'explicació sembla clara si es considera que en aquestes regions fredes a la primavera, quan es produeix la germinació de les llavors, les poblacions d'herbívors (cargols, llimacs...) estan en diapausa hivernal, cosa que no passa a les zones temperades. En aquests llocs la

supervivència de la planta, en aquest estat crític de desenvolupament, ha passat per elaborar aquesta estratègia defensiva (Jones, 1974).

Un altre sistema defensiu de les plantes, més corrent en gimnospermes i falgueres, es basa en la capacitat d'aquestes plantes de produir compostos que mimetitzen l'acció de les hormones de desenvolupament: fitoecdisones (mimètics de l'hormona de muda), o juvenoides i *precocens* (mimètics o antagonistes de l'hormona juvenil). Una larva de *Spodoptera* que ha consumit plantes *Ajuga*, caracteritzades per contenir gran quantitat de fitoecdisones (ajugalactona, ajugasterona, ajugarinnes, etc.) experimenta mudes anormals, mudes on es produeix una asintonia entre els processos complexos que tenen lloc. Per exemple, l'insecte forma una nova cutícula (apòfisi) sense acabar de desfer-se de la vella (ècdisi). Així apareixen individus com el de la figura, que ha desenvolupat fins a tres càpsules cefàliques. Es tracta d'un individu aberrant, recessiu i inviable (Kubo i Hanke, 1985). Les fitoecdisones, anàlogues de l'hormona de muda, són de difícil metabolització per a l'insecte i li provoquen anormalitats en el seu desenvolupament, esterilitat i mort prematura. Es tracta d'un sistema de defensa mitjançant el qual la planta aconsegueix reduccions del nivell de plaga, amb la qual cosa contribueix a mantenir-la sota valors tolerables.

95

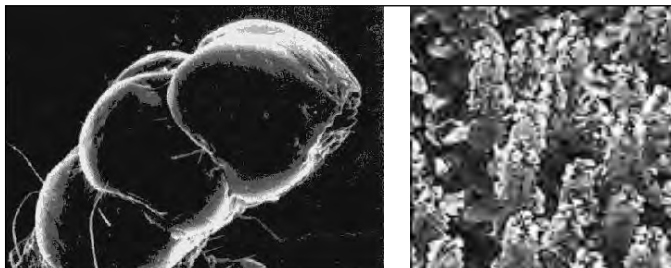


FIGURA 6. Efecte de les fitoecdisones d'espècies d'ajugues sobre larves del lepidòpter *Spodoptera frugiperda*.

Algunes varietats de panís es caracteritzen per disposar d'una gran quantitat de glucòsids de DIMBOA. El cereal és llavors força resistent a l'atac de determinades plagues (barrinadors, pugons, àcars fitòfags, etc.), per l'anomenat efecte antibiosi que provoquen. Sembla que al tracte digestiu de la larva s'hi produeix la hidròlisi del sucre, alliberant el DIMBOA, que és transformat en benzooxazolina. Aquestes substàncies tenen una sèrie d'efectes sobre els enzims del sistema digestiu (Assabgui *et al.*, 1995).

L'efecte d'antibiosi no és letal directament, però contribueix a una reducció de la virulència de l'atac en retardar en conjunt el desenvolupament de l'espècie mitjançant una sèrie d'accions, com són: una reducció de la taxa de supervivència, una menor velocitat de creixement, una reducció del pes i volum de l'organisme, una reducció dels nivells de fertilitat i fecunditat, una reducció del període de vida de l'adult, i, a vegades, l'aparició d'anormalitats morfològiques.

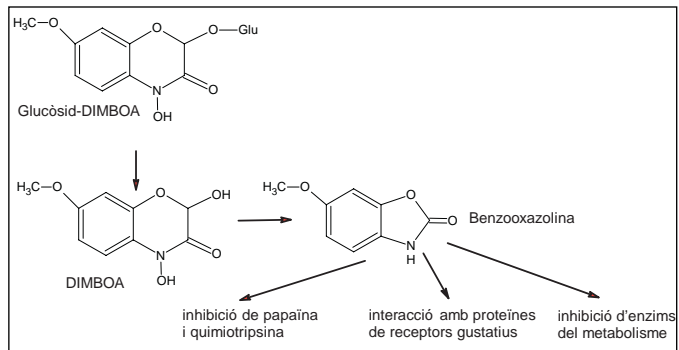


FIGURA 7. La formació i efectes de benzooxazolines al tracte digestiu d'algunes plagues del panís.

A vegades, com ja s'ha dit, una al·lomona pot esdevenir cairomona quan, mitjançant un procés d'adaptació, l'organisme receptor aconsegueix superar la problemàtica i fins i tot treure'n un benefici. Els coleòpters escolítids, plagues forestals terriblement xilòfagues, tenen sistemes de comunicació molt sofisticats. Per exemple, el mascle *Ips paraconfusus*, quan localitza un arbre idoni per colonitzar, emet una feromona constituïda per tres compostos: ipenol, ipsdienol i verbenona, una feromona sexual que permet atreure diverses femelles per formar el niu. Però s'ha vist també que aquesta secreció té altres efectes: així, s'ha detectat una forta activitat de dissuasió sobre altres espècies d'escolítids, competidores (per exemple, el cas de *Dendroctonus brevicomis*, seria en aquest cas una al·lomona). Tanmateix, s'ha constatat que l'olor de la secreció indica a un dels seus depredadors més terribles (*Thanasimus dubius*) on localitzar la presa; en aquest sentit es tractaria, doncs, d'una cairomona (Wood, 1982).

Un altre exemple curiós de cairomona el tenim en la relació de dues espècies de lluernes (*Photuris versicolor* i *Photinus ignitus*). La darrera està fortament protegida de depredadors per la presència de bufolalines, substàncies de naturalesa esteròica de gran acció repulsiva. La lluerna més grossa, *Ph. versicolor*, que no té aquest mecanisme defensiu, pot beneficiar-se'n. Per això la femella desenvolupa la seqüència lluminosa de la femella *Ph. ignitus*, atraient d'aquesta manera el mascle de l'espècie, el qual ataca i depreda, incorporant els productes defensius, que després utilitzarà per a l'autoprotecció i per a la protecció dels ous i cries petites (Eisner *et al.*, 1977b).



FIGURA 8. *Defensa química de les lluernes.* a) *Photinus ignitus* emet una secreció fortament repulsiva constituïda per bufotalines, substàncies de naturalesa esteròlica. b) La femella *Photuris versicolor* imita la seqüència lluminosa per atreure els mascles *P. ignitus* i per depredació aconseguir les substàncies protectores. c) D'aquesta manera la lluerneta es protegeix i protegeix la seva posta de l'atac d'aranya.

Els alcaloides, moltes vegades emprats en secrecions defensives dels animals, tenen quasi sempre un origen vegetal. D'entre els nombrosos exemples de la bibliografia he seleccionat el d'una bonica papallona, *Uthetheisa ornatix*, la larva de la qual viu i s'alimenta quasi exclusivament de la lleguminosa *Crotolaria mucronata*, planta que es caracteritza per disposar d'un elevat contingut d'alcaloides tipus pirrolizidina. La larva assimila i acumula aquests compostos, que li permeten obtenir una protecció davant d'enemics naturals, però no solament a ella. La papallona adulta, quan cau a la teranyina depredadora té un comportament diferent dels altres insectes: es queda immòbil, espera que s'apropi el depredador i emet, per mitjà d'unes glàndules dorsals laterals, una secreció on trobem els mateixos compostos defensius de la planta. A més, s'ha constatat que, amb certes transformacions, aquests compostos actuen també com a afrodisíacs per a les femelles en el moment de la còpula i, tanmateix, la secreció emesa en l'acoblament protegeix la parella durant aquest període d'indefensió (Rossini *et al.*, 2001).



FIGURA 9. La larva *Uthetheisa ornatrix* s'alimenta d'una lleguminosa, *Crotolaria mucronata*, que té una gran proporció d'alcaloides pirrolizidina. La papallona adulta podrà emprar-los posteriorment per a auto-defensa o com a afrodisíac en la còpula.

LES SINOMONES EN LES RELACIONS DE SIMBIOSI

Les sinomones són agents de comunicació interespecífica que impliquen un benefici d'ambdues espècies (productora i receptora). La cuca molla de la fusta (*Cryptocereus punctulatus*) és un insecte molt primitiu, localitzat en certs indrets muntanyosos dels EUA, amb cert parentesc amb les termites. L'insecte s'alimenta dels components de la fusta, però per a això necessita certs organismes unicel·lulars del seu tracte digestiu que li subministren els enzims necessaris per digerir els components cel·lulolítics. En aquesta relació de simbiosi s'ha trobat que l'hormona de muda de l'insecte actua també com a inductora del cicle reproductiu sexual del microorganisme.

En el cas més corrent de relació simbiòtica de la natura, la relació planta-pol·linitzador, trobem nombroses sinomones en les aromes, o els pigments responsables de coloracions de les corol·les, que tenen un paper molt important en l'atracció de l'insecte cap a la planta. Un exemple curiós el tenim en l'espècie de clavell salvatge de regions tropicals americanes, *Ipomopsis aggregata*. La planta té la capacitat de canviar el color de les corol·les (la composició dels pig-

ments) en funció del pol·linitzador present en el medi. A la primavera i l'estiu, la planta és pol·linitzada per les poblacions de colibrís, molt abundants a la zona. L'animal és atret per coloracions intenses vermelles, morades o liles, típiques dels antocians presents a les corol·les durant aquest període. En passar el temps, al final de l'estiu i la tardor, la planta canvia la coloració dels pètals. Apareixen flors blanques, on els principals pigments flavonoides tenen una forta absorció de la llum ultraviolada. Això coincideix exactament amb la desaparició dels colibrís i l'aparició d'un nou pol·linitzador, unes arnes nocturnes, *Hyles lineata*, que són atretes per la llum ultraviolada (Juenger i Bergelson, 1997).

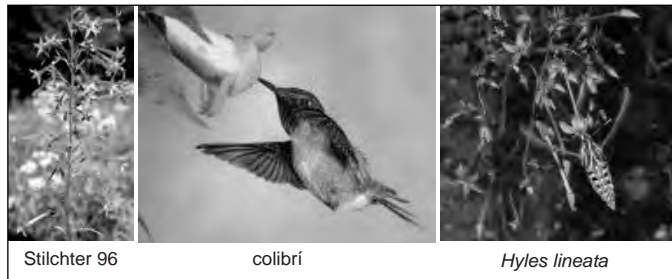


FIGURA 10. La planta ornamental *Ipomopsis aggregata* canvia estacionalment la composició dels pigments de les corol·les en funció del pol·linitzador present.

Finalment he volgut seleccionar un darrer exemple de substàncies amb activitat de sinomones, extret de la relació tritròfica: planta-fitòfag-parasitoide. El teixit de la planta de panís, quan és atacat per una larva de *Spodoptera*, respon amb l'emissió d'una secreció de components defensius (de naturalesa terpenica, derivats de l'indole, etc.). Aquests compostos permeten que l'enemic natural de la plaga (per exemple, l'himenòpter braconíid *Cotesia marginiventus*) pugui localitzar-la (Bernasconi *et al.*, 2001). D'aquesta manera l'e-

nemic natural farà la posta sobre la larva i les larves parasitoides es desenvoluparan a l'interior de l'insecte, i li causaran la mort. Des del punt de vista planta-enemic natural, és clar que ens trobem davant d'una simonona.



101

FIGURA 11. Els volàtils terpènics produïts per la planta de panís exposada a l'atac d'una larva de lepidòpter atreuen l'enemic natural l'himenòpter braconíde *Cotesia marginiventus*.

LES FEROMONES EN LA COMUNICACIÓ INTRAESPECÍFICA

Les feromones són els semioquímics més coneguts i, d'entre totes, les anomenades *feromones sexuals* són, sens dubte, les més potents, les més estudiades i les més emprades en protecció de conreus. Es tracta de secrecions químiques alliberades per un dels dos individus del sexe, que tenen com a missió atreure a distàncies grans la parella de l'espècie. Per tal d'aconseguir el seu objectiu, les feromones s'han de trametre a distància (a vegades fins i tot quilòmetres); per tant, han de

ser compostos volàtils (si la transmissió es produeix entre espècies terrestres), o compostos solubles en aigua (si la transmissió té lloc entre espècies aquàtiques). Una altra característica és la seva alta sensibilitat i especificitat en la interacció amb els receptors dels organismes. Fan falta solament uns quants centenars de molècules per provocar resposta en els receptors, i solament els individus d'una espècie responen a una feromona determinada.

Des del punt de vista agrícola, l'interès en l'ús d'aquests compostos es basa en els fets següents: 1) és un sistema molt eficaç per realitzar el seguiment d'una plaga, per construir les anomenades corbes de vol, per determinar els períodes idonis de tractament, i, en general, per obtenir informació bàsica sobre diferents aspectes de la biologia de la plaga; 2) es poden emprar com a mitjà de lluita directa contra la plaga amb estratègies de captures en massa; el mètode mostra alguna utilitat en determinades plagues i en casos d'infestacions precoces; 3) combinada amb altres tècniques de lluita (insecticides convencionals, lluita biològica...), es poden emprar per concentració de la plaga en zones determinades del conreu, on pot ser eliminada amb més eficiència; 4) finalment el mètode més corrent de lluita directa amb feromones és la confusió sexual, que suposa la saturació de l'atmosfera amb concentracions grans d'atraient sintètic, per confondre l'orientació del mascle cap a la font natural de la feromona.

A més de les feromones sexuals n'hi ha altres també d'interessants des del punt de vista ecològic, que tenen sobretot raó de ser en els anomenats insectes socials, on podem dir que tots els aspectes de vida en la colònia estan regulats per feromones.

Les feromones de còpula, que no s'han de confondre amb les feromones sexuals, actuen com a afrodisíacs i permeten a l'insecte completar amb èxit l'acoblament. Aquestes secrecions no són tan volàtils i actuen a curta distància. En

moltes espècies el mascle inicia una seqüència ritual d'aparellament al voltant de la femella, per fixar-ne l'atenció. L'insecte disposa d'uns òrgans pilosos situats a la fi de l'abdomen, que en realitat són glàndules secretores de compostos que va enviant cap a l'antena de la femella, de manera que actuen com a estimulants, fins a fer-la receptiva en la còpula (Meinwald, 1975). En el cas exposat de la figura 9 es presenta un exemple de feromona de còpula sobre la base d'alcaloides pirrolizidina pel lepidòpter *Uthetheisa ornatrix*.

Les feromones de marcatge de pista guien els congèneres cap al niu o cap a l'explotació d'una font alimentària. Es tracta de secrecions molt específiques que presenten els insectes fins i tot a escala de colònia.

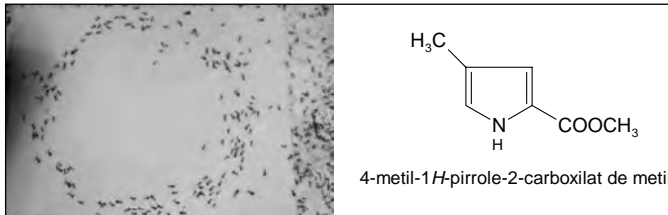


FIGURA 12. Formigues *Atta texana* seguint una pista artificial d'una feromona de marcatge.

Els receptors olfactivs de l'insecte són altament sensibles a aquestes feromones. Es calcula que, per formar una pista, les formigues empen quantitats de 0,08 pg de substància/cm (4×10^4 molècules/cm). Amb aquestes dades podem fer estimacions i afirmar que bastarien al voltant de 0,33 mg de compost per construir una pista que donés la volta al món. Una de les feromones més ben descrites és la de la formiga *Atta texana*, descrita com un compost d'estructura pirròlica (4-metil-1H-pirrole-2-carboxilat de metil) (Riley *et al.*, 1995).

Les feromones de marcatge de territori de posta són comunes en algunes espècies d'insectes. La mosca de la fruita,

Rhagoletis cerasae, quan selecciona un substrat de posta òptim per al desenvolupament futur de les cries, envolta els ous (la posta és solament d'un o dos ous) en una secreció que és repel·lent per a altres femelles. Amb això s'assegura que les larvetes, indefenses i poc mòbils, tindran assegurada la supervivència (Boller *et al.*, 1987). Les feromones de marcatge de posta són compostos poc volàtils, fet que els assegura una persistència gran en la zona d'aplicació. Per a algunes plagues s'ha pensat un ús real d'aquests compostos en programes de control.

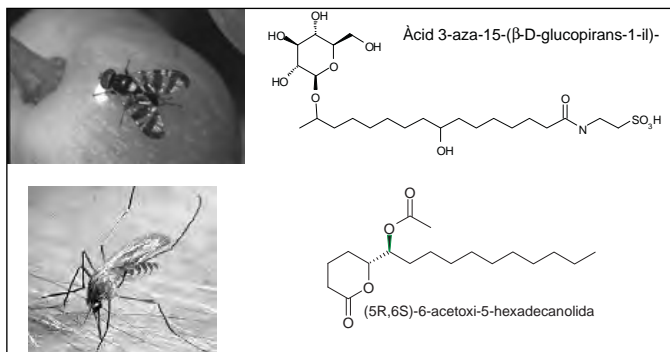


FIGURA 13. Feromones de marcatge. La mosca de la fruita, *Rhagoletis cerasae*, marca el seu territori de posta amb una feromona repel·lent per a altres femelles. La femella del mosquit, *Culex pipiens*, senyala el lloc de posta amb una feromona que és atractiva per a altres femelles.

De vegades succeeix el contrari, i la femella, en trobar un lloc adequat per al desenvolupament de la progènie, introdueix un indicador de la idoneïtat del substrat, tractant-se en aquest cas d'un senyal inductor de posta a altres femelles. És el cas de moltes espècies de mosquits, com per exemple *Culex pipiens*, una plaga importada de certes regions americanes, transmissora d'encefalopaties animals i humanes. La femella, que fa la posta en llocs humits pròxims a zones habitades, indica d'aquesta manera que ha trobat un lloc bo per a la posta. Així les

eclosions es produiran molt properes i es propiciarà l'agregació, procés vital en les larvetes neonates (Laurence i Pickett, 1982).

L'agregació es un sistema de vida necessari per a algunes espècies animals (cuca molla, llagostes, alguns mosquits, escolítids...), les quals d'aquesta manera poden desenvolupar de manera òptima totes les seves capacitats. L'insecte seleccionat, la llagosta del desert, *Locusta migratoria*, presenta una fase de desenvolupament en solitari en què l'insecte és d'un color apagat, molt poc actiu, i en què quasi no menja. En canvi, en estadi d'agregació canvien dràsticament els seus hàbits, l'insecte es torna molt actiu i mòbil, adquireix coloracions brillants, menja la major part del temps i es comporta com la plaga terriblement destructiva que coneixem. Les feromones d'agregació són produïdes per l'insecte adult i són atractives per a mascles, femelles i fins i tot per a estats immadurs. Aquests procés d'agregació està induït: 1) per estímuls tàctils que es trameten entre si, 2) per un factor d'herència materna, no massa conegut, i 3) per secrecions de compostos, que trobem en els excrements (guaiaicol, fenol, veratrol, etc.) i que es pot comprovar que propicien el procés (Fuzeau-Braesch *et al.*, 1988). Aquests tipus de semioquímics poden emprar-se també per al control de plagues en estratègies: 1) de captures massives, 2) de proves d'atracció i mort, i 3) d'experiments d'antiagregació.

Un darrer grup important de feromones són les anomenades *feromones d'inhibició o maduració*. Aquestes secrecions tenen un paper bàsic en el desenvolupament del sistema de castes d'una colònia d'insectes socials. Gràcies a aquestes feromones, la reina s'assegura la submissió de les obreres. La construcció de les cel·les reials i la posta per les obreres són inhibides per una secreció constituïda per una mescla d'un cetòacid i un hidroxiàcid (àcid 2-(E)-9-oxodecenoic + àcid 2-(E)-9-hidroxidecenoic), que emet la reina a través de les glàndules mandibulars, s'escampa per tot el seu cos i es va distribuïnt per tota la colònia per contacte directe, per regurgitació o per con-

tacte indirecte. Aquest compost sembla que té una acció concreta d'inhibició sobre la glàndula del *corpora allata*, que secrega l'hormona juvenil, necessària per al desenvolupament i per assegurar la fertilitat de l'ovari de les obreres. Trobem aquí una regulació química de l'organització jeràrquica del rusc. Mentre la reina és jove es manté una transmissió efectiva de la substància, que arriba bé a tot l'eixam. Quan la reina es fa vella, o l'eixam creix massa, minva l'efectivitat del control i es propicia l'aparició de noves reines (Meer *et al.*, 1998).

Els depredadors i els parasitoides poden interceptar el missatge d'una feromona de la presa i utilitzar-lo en benefici propi. En aquest cas, el senyal químic s'ha de considerar com a caïromona. D'entre els nombrosos exemples citarem algunes aranyes (*Mastophora*, *Claudomelia*...), depredadores summament especialitzades. La femella emet una secreció que mimetitza les feromones sexuals (acetats insaturats) com a reclam per atreure els mascles de diferents espècies de lepidòpters. L'aranya ja no fabrica la teranyina tradicional, sinó que llança un fil amb una bola apegalosa al final, que fa servir per atrapar la seva presa quan aquesta és atreta per l'engany (Gemeno *et al.*, 2000).



FIGURA 14. L'aranya-bola atreu mascles de lepidòpters mimetitzant la feromona de les femelles respectives. Quan s'apropen, en lloc de teranyina l'aranya utilitza un fil amb una bola apegalosa, que permet capturar i retenir les víctimes.

Tot i que és universalment acceptada l'existència de feromones en animals superiors, el nostre coneixement no és tan complet com en el món dels insectes. La química i les formes d'actuació de les feromones dels mamífers està encara molt inexplorada, tot i que hi ha suficients dades d'estudis de camp i laboratori que impliquen en aquests organismes una comunicació via compostos químics (Müller-Schwarze *et al.*, 1991).

Així, les olors tenen un paper important en l'atracció sexual, en la detecció de femelles en zel pel mascle i dels fills per la mare. En molts mamífers (ovelles, cavalls, cérvols, etc.), l'orina sembla un substrat on trobem algunes d'aquestes feromones o algun dels seus metabòlits.

Les secrecions vaginals són també una font de feromones responsable de l'atracció sexual i l'excitació del mascle de molts mamífers. Les substàncies actives consisteixen en àcids alifàtics volàtils de cadena curta (copulines), la presència de les quals s'ha evidenciat en primats i també en humans.

En la saliva també s'han estat descrit feromones amb efecte sobre algunes espècies. Alguns esteroides (com 5α -androst-16-en-3-ol i 5α -androst-16-en-3-ona) presents a la saliva del verro indueixen una resposta reflexa d'immobilització i acceptació de la femella, procés essencial per consumir la còpula. Una aplicació comercial en forma d'aerosol de la feromona permet ajudar a processos d'inseminació artificial de femelles.

En rates s'ha descrit una feromona que intervé en la relació mare-cria. Aquesta feromona és produïda sota influència de la prolactina i serveix per evitar la dispersió de la fillada al voltant de la mare.

Les feromones d'efecte retardat intervenen en el cicle de l'estre (zel), de la gestació i de la maduresa sexual. L'agrupació unisexual de femelles amb un període menstrual regu-

lar ocasiona una mútua alteració dels cicles de l'estre. D'altra banda, en l'orina de ratolins mascles s'ha detectat la producció d'una feromona, andrògena-dependent que, a baixa concentració, indueix i accelera el zel de les femelles.

LA RECERCA EN EL CAMP DE LES FEROMONES I ALTRES SEMIOQUÍMICS

La recerca en el camp de les feromones és molt variada i implica: 1) estudis sobre la seva caracterització estructural, comprenent els aspectes d'aïllament de la font, de determinació estructural, de síntesi de laboratori i de proves biològiques d'activitat; 2) estudis generals sobre els processos de biosíntesi i de percepció de la feromona, mirant de progressar en el seu coneixement per tal d'aconseguir bloquejar-los o interferir-hi, i 3) estudis sobre les possibilitats d'utilització d'aquests compostos en programes de control de plagues, bàsicament en propostes de confusió sexual.

CONCLUSIONS

Cal admetre de manera inqüestionable l'existència d'un sistema de comunicació ancestral entre tots els organismes vius (espècies vegetals, animals i microorganismes); sense aquest sistema, les comunitats animals no haurien pogut desenvolupar les seves estructures actuals. Aquest llenguatge químic desencadena nombroses reaccions automàtiques, adaptades a situacions determinades. És una gran responsabilitat de la nostra espècie aprofundir en el coneixement i, a partir d'aquest, preservar aquesta meravella de la natura que constitueix la comunicació química.

BIBLIOGRAFIA

- ASSABGUI, R. A.; ARNASON, J. T.; HAMILTON, R. I. (1995). «Field evaluations of hydroxamic acids as antibiosis factors in elite maize inbreds to the western corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*)». *J. Econ. Entomol.*, núm. 88, p. 1482-1493.
- BERNASCONI, O. M. L.; TURLINGS, T. C. J.; EDWARDS, P. J.; FRITZSCHE-HOBALLAH, M. E.; AMBROSETTI, L.; BASSETTI, P.; DORN, S. (2001). «Response of natural populations of predators and parasitoids to artificially induced volatile emissions in maize plants (*Zea mays* L.)». *Agric. & Forest Entomol.*, núm. 3, p. 1-10.
- BOLLER, E. F.; SCHONI, R.; BUSH, G. L. (1987). «Oviposition deterring pheromone in *Rhagoletis cerasi*: Biological activity of a pure single compound verified in semi-field test». *Ent. Exper. App.*, vol. 45, núm. 1, p. 17-22.
- BUTENANDT, A.; BECKMANN, R.; STAMM, D.; HECKER, E. (1959). «Über den Sexuallockstoff des Seidenspinnter, *Bombyx mori*. Reindarstellung und Konstitution». *Z. Naturforsch.*, núm. 146, p. 283-284.
- DUFFEY, S. S. (1980). «Sequestration of Plant Natural products by insects». *Rev. Entomol.*, núm. 25, p. 447-477.
- EISNER, T.; JONES, T. H.; ANESHANSLEY, D. J.; TSCHINKEL, W. R.; SILBERGLIED, R. E.; MEINWALD, J. (1977a). «Chemistry of defensive secretion of bombardier beetles». *J. Insect Physiol.*, núm. 23, 1383-1386.
- EISNER, T.; GOETZ, M. A.; HILL, D. E.; SMEDLEY, S. R.; MEINWALD, J. (1977b). «Firefly “Femmes fatales” acquire defensive steroids (lucibufagins) from their firefly prey». *Proc. Natl. Acad. Sci. [EUA]*, núm. 94, p. 9723-9728.
- FUZZEAU-BRAESCH, S.; GENIN, E.; JULLIEN, R.; KNOWLES, E.; PAPIN, C. (1988). «Composition and role of volatile substances in atmosphere surrounding two gregarious locusts,

- Locusta migratoria* and *Schistocerca gregaria*». *J. Chem. Ecol.*, núm. 14, p. 1023-1033.
- GEMENO, C.; YEARGAN, K. V.; HAYNES, K. F. (2000). «Aggressive chemical mimicry by the bolas spider *Mastophora hutchinsoni*: Identification and quantification of a major prey's sex pheromone components in the spider's volatile emissions». *J. Chem. Ecol.*, núm. 26, p. 1235-1243.
- JONES, D. A. (1972). «Cyanogenic glycosides and their function». A: HARBORNE, J. B. [ed.]. *Phytochemical Ecology*. Londres: Academic Press, p. 103-124.
- (1974). «Co-evolution and Cyanogenesis». A: HEYWOOD, V. H. [ed.]. *Taxonomy and Ecology*. Londres: Academic Press, p. 213-242.
- JUENGER, T.; BERGELSON, J. (1997). «Pollen and resource limitation of compensation to herbivory in scarlet gilia, *Ipomopsis aggregata*». *Ecology*, núm. 78, p. 1684-1695.
- HARBORNE, J. B. (1988). *Introduction to ecological biochemistry*. Londres: Academic Press, p. 1-6.
- KARLSON, P.; LÜSCHER, M. (1959). «Pheromones, a new term for a class of biologically active substances». *Nature*, núm. 183, p. 155-176.
- KUBO, I.; HANKE, F. J. (1985). «Multifaceted chemically based resistance in insects». A: COOPER-DRIVER, G. A.; SWAIN, T. [ed.]. *Chemically mediated interactions between plants and other organisms*. Plenum Publishing Corp., p. 171-194.
- LAURENCE, B. R.; PICKETT, J. A. (1982). «Erythro-6-acetoxy-5-hexadecanolide, the major component of a mosquito oviposition attractant pheromone». *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, p. 59-60.
- MEER, R. van der; BREED, M. D.; ESPELIE, K. E.; WINSTON, M. L. (1998). «Pheromone communication in social insects». Boulder, CO: Westview Press.
- MEINWALD, J.; BORIACK, C. J.; SCHNEIDER, D.; BOPPRÉ, M.;

- WOOD, W. F.; EISNER, T. (1974). «Volatile ketones in the hairpencil secretion of danaid butterflies (*Amauris* and *Danaus*)». *Experientia*, núm. 30, p. 721-722.
- MÜLLER-SCHWARZE, H.; NATYUNCZUK, S. E.; McDONALD, D. W. [ed.]. (1991). *Chemical signals in vertebrates*. Londres: Oxford University Press.
- NORDLUND, D. A.; JONES, R. L.; LEWIS, W. J. (1971). *Semiochemicals. Their role in Pest Control*. Nova York: John Willey & Sons, p. 3-13.
- PASTEELS, J. M.; DUFFY S.; ROWELL-RAHIER, M. (1990). «Toxins in chrysomelid beetles: possible evolutionary sequence from de novo synthesis to derivation from food-plant chemicals». *J. Chem. Ecol.*, núm. 16, p. 211-222.
- RILEY, R. G.; SILVERSTEIN, R. M.; CARROLL, B.; CARROLL, R. (1974). «Methyl 4-methylpyrrole-2-carboxylate: a volatile trail pheromone from the leaf-cutting ant, *Atta cephalotes*». *J. Insect Physiol.*, núm. 20, p. 651-654.
- ROSSINI, C.; GONZÁLEZ, A.; EISNER, T. (2001). «Fate of an alkaloidal nuptial gift in the moth *Utheisa ornatix*: systemic allocation for defense of self by the receiving female». *J. Insect Physiol.*, núm. 47, p. 639-647.
- WALLS, J. G. (1994). «Jewels of the Rainforest – Poison Frogs of the family *Dendrobatidae*». Neptune City. T. F. H. Publications, Inc.
- WHITTAKER, R. H.; FEENY, P. P. (1971). «Allelochemicals: Chemical interactions between species». *Science*, núm. 171, p. 757-770.
- WOOD, D. L. (1982). «The role of pheromones, kairomones, and allomones in the host selection and colonization behavior of bark beetles». *Ann. Rev. Entomol.*, núm. 27, p. 411-446.



**SOCIETAT CATALANA
D'HISTÒRIA
DE LA CIÈNCIA
I DE LA TÈCNICA
LES TERRES DE L'INTERIOR
EN LA CARTOGRAFIA DE MALLORCA
I BARCELONA,
A CÀRREC DE
MERCÈ COMES,
DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA**

1. GENERALITATS

Primer de tot, voldria agrair a l'Institut d'Estudis Catalans, organitzadors d'aquest cicle de conferències, «La terra i el medi», i especialment a la Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, filial de l'Institut, que m'hagin convidat a participar-hi.

L'objectiu d'aquesta conferència és parlar de la Terra, a les cartes nàutiques i mapamundis catalans.¹ Ara bé, abans de començar m'agradaria fer un parell de consideracions bàsicament de tipus terminològic, perquè, en aquest camp, la terminologia és força polèmica. Aquí no entraré en discussions, però sí que vull puntualitzar que, per fer-ho més entenedor, parlaré de *cartografia catalana*, atenent a la llengua majoritàriament utilitzada, tot i que podríem parlar, i de fet de vegades ho faré, de *cartografia mallorquina*, atenent al lloc on majoritàriament es va produir. I dic majoritàriament, en els dos casos, perquè part de la cartografia catalana està escrita en llatí i part està produïda fora de Mallorca, això sí, per mallorquins, que no renunciïn als seus orígens, ja que molts d'ells hauran afegit a la signatura la condició de «mallorquí» o «fill de mallorquí», mostrant, d'alguna manera, que per a la professió de cartògraf aquest era un senyal de prestigi.

1. Una bibliografia bàsica respecte d'aquest apartat hauria d'incloure el clàssic J. REY PASTOR; E. GARCÍA CAMARERO, *La cartografía mallorquina*, Madrid, Instituto Luis Vives, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1960; i, com a més modern, T. CAMPBELL, «Portolan Charts from the Late Thirteenth Century to 1500», *The History of Cartography*, vol. 1, Chicago, 1997 p. 371-463; V. M. ROSELLÓ i VERGER, «Les cartes portolanes mallorquines», Cicle de Conferències sobre Història de la Cartografia, 10è curs, *La cartografia catalana*, Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya, 2000, i, en premsa, M. COMES, «La cartografia a Mallorca i Barcelona», *La ciència en la història dels Països Catalans*, 2a part del 1r volum, Institut d'Estudis Catalans.

Per altra banda, em referiré, de manera general, a cartes nàutiques i mapamundis, tot i que per a ser més exactes convindria utilitzar tipologies com la de Rey Pastor i García Camarero, o millor encara la de Fall:² *carta nàutica pura*, *atles nàutic pur*, *carta nauticogeogràfica*, *atles nauticogeogràfic* i *mapamundi*.

De fet, la *carta nàutica* es defineix com la representació plana de les costes d'un o més mars, que permet la navegació per rumb, és a dir, que proporciona la possibilitat de determinar la posició de la nau i assenyalar la derrota entre dos ports. Tot això, gràcies a un entramat de línies de vents que conserven en el pla els angles que aquests formen a l'esfera. Aquest entramat de vents o línies de rumb és típic de les cartes nàutiques mediterrànies de tot tipus, siguin d'ús o de biblioteca, siguin àrabs, catalanes o italianes.

A més de l'entramat de vents, una carta nàutica conté tots aquells accidents geogràfics, el coneixement dels quals facilita el tràfic marítim. És a dir, ports, badies, golfs, caps, muntanyes o promontoris que es vegin des del mar, esculls, etc.

Quan ens trobem davant d'una carta o un grup de cartes que vol representar no ja un mar sinó tot el món conegut en una època determinada, parlarem de *atles* o *mapamundis*, segons si la representació està o no fraccionada.

Ara bé, moltes d'aquestes cartes nàutiques, atles i mapamundis porten, a més a més, informacions diverses que poc o res tenen a veure amb la navegació. De manera que són sovint instruments de navegació, però també constitueixen moltes vegades autèntics compendis dels coneixements geogràfics, polítics, biològics, històrics i socials d'una època. És a dir, que de vegades són una mena d'enciclopèdies on trobem dades de tot tipus:

2. Y. K. FALL, *L'Afrique à la naissance de la cartographie moderne. Les cartes majorquines. XIVe-XVe siècles*, París, 1982.

- geografia física: mars, rius, llacs, muntanyes,
- geografia econòmica: mercats, rutes de caravanes, llistes de productes,
- geografia política: estats, reis,
- biogeografia: flora i fauna,
- religió: rutes i centres de pelegrinatge (jueus, cristians i musulmans),
- etnografia: costums dels pobles.

Com hem vist, doncs, tot i que la finalitat de la carta nàutica és el mar, la terra té també la seva importància i sovint proporciona dades d'interès.

Per exemple, de vegades ajuden a aclarir els orígens i les influències d'un cartògraf, d'una carta o d'un grup de cartes en concret.

Altres vegades, les terres de l'interior manen sobre quines costes s'han de representar o no. Un exemple clar el tenim a al-Idrīsī, un dels més grans geògrafs i cartògrafs musulmans que va ser utilitzat pels cartògrafs mallorquins.

Al-Idrīsī (1150), en el llibre que escriu per acompanyar i explicar els seus mapes, *Nuzhat al-mushtāq fi ikhtirāq al-āfāq*,³ descriu les costes del que s'anomena *al-Xarq al-Andalus*, és a dir, l'orient d'Al-Andalus (la zona de llevant de la península Ibèrica),⁴ i ens proporciona una llista exhaustiva, típica dels portolans, dels ports que hi ha a la zona i les distàncies entre ells. En aquesta descripció hi falta, però, la regió alacantina de la Marina Baixa, que presenta grans badies i ports utilitzats des de l'edat mitjana, com Altea,

3. La primera impressió d'aquesta obra es va fer a Roma l'any 1592, i l'any 1619 era traduïda al llatí amb el títol de *Geographia Nubiensis*. S. Maqbul Ahmad, «Cartography of al-Sharīf al-Idrīsī», *The History of Cartography*; vol. 2, llibre 1, p. 156-174.

4. Al-Andalus és la zona de la península Ibèrica sota domini musulmà i per tant les seves dimensions i fronteres varien amb el temps.

Benidorm i Vila Joiosa. El motiu de no haver-los inclòs és que tenen una difícil comunicació interior perquè la zona es troba envoltada de muntanyes. De manera que, a més d'unes bones condicions per a fondejar, els vaixells requerien unes bones comunicacions per terra. No hem d'oblidar que una de les finalitats bàsiques de la navegació era el comerç.

Per altra banda, els exemplars d'ús, que es duïen als vaixells, es feien malbé o es perdien amb molta facilitat, a causa de naufragis, del malmetement produït per l'ús, dels atacs de pirates i corsaris de tota mena, etc. De manera que moltes de les cartes conservades són exemplars de luxe, fets sovint per encàrrec reial, i això fa que tot el que s'hi inclou, però especialment les terres, que no diuen gran cosa als mariners, tingui un valor especial i de vegades s'hagi de mirar sota el prisma de les relacions entre els pobles.

En un moment donat, l'infant Joan ens parla en un document d'una carta nàutica avui perduda. L'any 1373, escriu a Mallorca des de València.⁵ Diu:

[...] com nos desitgem haver la carta de navegar complida ab tot son arrendament e sestés, per ço us pregam que ns tremetats la dita carta be feta e devisada ab son levant e ponent, en que sia especialment tot l'estret et quan fer se puixa del dit ponent et del dit estret anant vers ponent.

En la comanda es fa referència a certs coneixements geogràfics que l'interessen, especialment l'estret i la zona de ponent, i els motius del seu interès, segurament econòmics, poden ser de tota mena, fins i tot militars.

També demanà, essent ja rei, l'any 1387, un mapa-mundi amb totes les informacions que pogui proporcionar un

5. RUBIÓ I LLUCH (1908-1921), *Documents per l'història de la cultura catalana mig-eval*, Barcelona, n. 265.

mallorquí que havia viatjat a Tartària i les Índies.⁶ Llompart i Palou l'identifiquen amb Francesc Desvalers,⁷ el primer que va explorar les Canàries, en un viatge autoritzat, l'any 1342, per Jaume III. De fet, Desvalers pertanyia a la companyia comercial més important de l'illa i va viatjar també a la Mar Negra i al país dels tàrtars, on va residir durant molt de temps.

De manera que els reis i infants de la Corona de Catalunya i Aragó, que seran els màxims patrocinadors dels cartògrafs mallorquins, estan assabentats de les novetats i de les anades i vingudes dels viatgers, i volen disposar de tota la informació, especialment en forma de carta o mapamundi.

Així doncs, d'informació n'hi ha molta i de tipus molt diferent. Ara bé, d'on procedeix tota aquesta informació? Doncs de fonts molt diverses. Des de Ptolemeu, origen de la geografia científica, fins als llibres de viatge, de Marco Polo i Odoric de Pordenone, per exemple, passant per les *Mil i una nits*, la *Història natural* de Plini, les *Etimologies* d'Isidor, els cartògrafs àrabs i els mapamundis eclesiàstics europeus, sense oblidar els relats de comerciants i viatgers de tota mena, que, com hem vist i veurem més endavant, proporcionen informacions molt útils i sobretot d'última hora.

2. ELS ORÍGENS GRECS DE LA CARTOGRAFIA

Especialment pel que fa a la Mediterrània, els orígens de la cartografia són ben coneguts i no cal insistir-hi massa:

— Els astrònoms grecs (uns quatre segles aC) van començar a desenvolupar la idea d'una terra esfèrica.

6. RUBIÓ I LLUCH, *Documents*, n. 303.

7. G. LLOMPART i J. M. PALOU (1995), «Apunts iconogràfics des del port de Mallorca», *Cartografia mallorquina*, Barcelona, p. 71-87.

- Eratòstenes (segles III-II aC) ens parla d'un mapa del món habitat.
- Hiparc (segle II aC) fou el primer a proposar d'aplicar les coordenades del cel a la terra, per tal de poder determinar les longituds i latituds mitjançant procediments astronòmics.
- Finalment, Ptolemeu (segle II dC) va compondre la seva *Geografia* (VIII llibres), basada en una obra, avui perduda, de Marinos de Tir. A la *Geografia*, Ptolemeu dona una llista d'uns vuit mil topònims amb les coordenades corresponents (la majoria basades en mesures itineràries, però). Aquesta obra de Ptolemeu serà la base de tot el desenvolupament posterior.

La *Geografia* de Ptolemeu va arribar a Europa per tres camins diferents:

- 1) Traduccions i adaptacions àrabs (finals del segle IX, tot i que els manuscrits més antics conservats són de principis del XII).
- 2) Versions bizantines (finals del segle XIII-principis del XIV).
- 3) Traduccions al llatí impreses (finals del segle XV en endavant).

No s'han conservat manuscrits grecs de la *Geografia* de Ptolemeu anteriors al segle XIII, quan Maximus Planudes (c. 1260-1310) va preparar-ne la còpia. Sabem, per fonts documentals, que a l'estiu de l'any 1295 Planudes es dedicava a la tasca de recerca de manuscrits científics per a la biblioteca del seu monestir a Chora i, entre d'altres coses, buscava una còpia de la *Geografia* de Ptolemeu, sembla que després d'haver-ne vist versions àrabs. Pel que es veu, no li

va costar gaire de trobar-la, ja que al manuscrit que es conserva a la Biblioteca del Vaticà, datat a finals del segle XIII, hi ha una nota en la qual s'expliquen els esforços de Planudes per trobar aquesta obra i el seu desencís quan va comprovar que no duia els mapes descrits. Aleshores, Planudes va manar als seus col·laboradors que dibuixessin un conjunt de mapes per a fer-ne una còpia, els vint-i-sis mapes que, segons el manuscrit, haurien hagut d'acompanyar el text. Els manuscrits més antics que es conserven amb mapes (Vaticà, Istanbul i Copenhagen) són precisament els copiats per Planudes mateix o per algun dels seus col·laboradors.⁸

Per altra banda, sabem que la *Geografia* de Ptolemeu va ser traduïda a l'àrab per Ya'qūb Ibn Ishāq al-Kindī (m. 874), per Thābit ibn Qurra al-Harrānī (836-901) i sembla que també per Ibn Ḥurradādhbih (segle IX). Malauradament, però, no es conserva còpia d'aquestes traduccions. L'única traducció conservada va ser feta a principis del segle XV (1406) per Georgios Amirutzes de Trebisonda i el seu fill, probablement per a Mehmet II, el conqueridor de Constantinoble (1453), un soldà molt interessat en la ciència. En tenim dues còpies, una amb mapes i una altra sense.⁹

Ara bé, la gran majoria d'autors de les obres geogràfiques àrabs amb mapes es basen, segons paraules seves, en la geografia de Ptolemeu. Per tant, no tenim traduccions de la *Geografia*, però sí abundants obres que la prenen com a base, com és la d'al-Idrīsī.

El que sí és cert és que amb la traducció al llatí i la impressió de la *Geografia* de Ptolemeu, durant el segle XV, aquest autor exercirà una nova influència, que sovint representa un pas enrere. Alguns autors renaixentistes reproduiran

8. A. DILLER, «The oldest manuscripts of Ptolemaic maps», *Transactions of the American Philological Association*, núm. 71 (1940).

9. F. SEZGIN *et al.*, *Klaudios Ptolemaios Geography. Arabic Translation (1465 A.D.)*, Frankfurt, 1987.

el món ptolemaic sense tenir en compte les millores dutes a terme pels àrabs, i així, per exemple, tornaran a les dimensions ptolemaïques, força poc acurades, de la Mediterrània, que els àrabs havien corregit amb gran exactitud,¹⁰ correcció que es reflecteix en la cartografia mediterrània.

Pel que fa a la primera edició llatina, tampoc no té mapes (Vicenza, 1475) i és una traducció feta l'any 1409 pel bizantí Manuel Chrysoloras i el seu deixeble Jacobos Angelos i dedicada al papa Alexandre V. La primera edició llatina amb mapes és la de Bolonya, de la segona meitat del segle XV. La primera edició grega és la d'Erasmus, de Basilea, feta l'any 1533.

Ara per ara, doncs, és impossible afirmar que els mapes que trobem als manuscrits conservats de la *Geografia* de Ptolemeu, siguin en la llengua que siguin, es puguin atribuir a Ptolemeu, sinó que és gairebé segur que mostren influències de versions prèvies, gregues, bizantines, siriaques o àrabs. En resum, el que és segur és que:

- els àrabs van utilitzar i traduir la *Geografia* de Ptolemeu des del segle IX;
- la cartografia àrab, basada en l'obra de Ptolemeu, fou coneguda a Europa bàsicament a través d'Al-Idrīsī (segle XII);

10. Vegeu respecte d'aquest punt, M. COMES, «The “Meridian of Water” in the Tables of Geographical Coordinates of al-Andalus and North Africa», *Journal for the History of Arabic Sciences*, núm. 10 (1994), p. 41-51; reimprès, amb bibliografia actualitzada, a Maribel FIERRO i Julio SAMSÓ, *The Formation of al-Andalus*, vol. 2, Aldershot, Variorum, Ashgate, 1998, p. 381-391; «Las tablas de coordenadas geogràficas y el tamaño del Mediterráneo según los astrónomos andalusíes», *Al-Andalus: El legado científico*, Granada, 1995, p. 22-37, i «Islamic Geographical Coordinates: al-Andalus' contribution to the correct measurement of the size of the Mediterranean», *Science in Islamic Civilization. Studies and Sources on the History of Science*, Istanbul, 2000, p. 123-138.

- al segle XIII, es van dur a terme les primeres versions bizantines, a partir d'uns manuscrits que no contenien mapes;
- i, finalment, a principis del segle XV (1406), la *Geografia* de Ptolemeu va ser traduïda al llatí i impresa a Itàlia des del 1475.

Ara bé, entre Ptolemeu i les cartes nàutiques hi ha un procés, del qual només tenim un coneixement parcial, i això ha provocat diverses polèmiques.

3. NAIXEMENT DE LES CARTES NÀUTIQUES

La polèmica que ha fet vessar més tinta gira al voltant de l'origen de les cartes nàutiques, principalment pel que fa al lloc on van sorgir per primera vegada (Itàlia, Mallorca o el món àrab), però també per la tradició de la qual depenen (antics portolans grecs, prototipus bizantins tardans o cartografia àrab, entre altres possibilitats).

Poques dades noves tenim per afegir-nos a una polèmica que, per altra banda, no sembla gens positiva, ja que probablement les coses no siguin ni blanques ni negres sinó d'un degradat de grisos.

Ara bé, el que sí que crec positiu és encetar un nou enfocament del problema, deixant de banda els arguments d'uns i altres que, fins ara, no han contribuït a resoldre'l ni hi han aportat solucions.

Partint de la base que el naixement de qualsevol desenvolupament científic requereix unes condicions culturals, polítiques i econòmiques, no tan sols adients sinó també favorables, hauríem de veure quines eren aquestes condicions a finals del segle XIII, principis del XIV, a l'àrea mediterrània, moment i lloc on haurien sorgit les primeres cartes de navegar i mapamundis.

- a) Pel que fa a la política, hem de considerar la creixent importància militar, marítima i comercial del regne de Catalunya i Aragó i d'algunes ciutats o ciutats república italianes (Venècia, Gènova i Pisa, bàsicament).
- A partir del segle XI, l'hegemonia militar a la Mediterrània passa de mans musulmanes a mans cristianes.
 - Durant el segle XIII, el regne de Catalunya i Aragó s'expansiona per l'est de la península Ibèrica i algunes illes de la Mediterrània, i així aconsegueix un poder naval, militar i econòmic considerable.
 - La importància marítima i comercial, i en certs casos també militar, d'algunes d'aquestes ciutats estat de la península Itàlica és també ben coneguda.
 - No podem oblidar l'íntima relació familiar i política entre la Corona d'Aragó i Itàlia, especialment Sicília, que podria explicar com va ser de fàcil per als cartògrafs mallorquins conèixer l'obra d'al-Idrīsī.
 - Així com, per exemple, el fet que ja des del segle XIII hi hagués a Mallorca colònies de genovesos ben documentades.
- b) Si parlem d'economia, queda clar que per tal d'aconseguir el domini, no tan sols militar sinó també comercial, de la Mediterrània calia competir, i per a això era imprescindible guanyar temps en la navegació.
- La navegació costanera, que era la més segura, era a la vegada la més lenta, perquè implicava fer moltes més milles de les necessàries. De manera que, per tal de guanyar temps, els

pilots haurien d'agafar el camí més curt, la qual cosa volia dir creuar el mar perdent de vista la costa.

- Aquesta navegació d'altura, que requeria mètodes més sofisticats i invalidava els antics portolans, podria haver propiciat la necessitat de les cartes nàutiques, per a la confecció i l'ús de les quals es necessitava l'ajut d'un compàs o una brúixola.
- c) Finalment, i culturalment parlant, està clar que alguns dels requeriments per al naixement de la carta nàutica implicaven uns importants coneixements, no només pràctics sinó també científics.
- El coneixement pràctic de la Mediterrània es trobava en mans dels musulmans, que des del segle VIII fins a l'XI —moment de la gran expansió marítima musulmana pel Mediterrani—, eren els únics que creuaven aquest mar, i també l'oceà Índic, d'un costat a l'altre.
 - El coneixement teòric, és a dir, el coneixement geogràfic, es trobava també en mans musulmanes, com la resta dels coneixements científics del moment que, no ho hem d'oblidar, van arribar a Europa a través d'Al-Andalus i Sicília. No hi ha cap dubte sobre el fet que la ciència àrab, especialment pel que fa a l'astronomia, la geografia i la cartografia, era l'única ciència desenvolupada en aquells moments a la zona i es trobava a l'abast tant de catalans i mallorquins com d'italians.
 - La introducció de la brúixola o compàs des de principis del segle XIII, indispensable per a la confecció i ús de la carta nàutica i ben conegut i utilitzat al món àrab des del IX, possiblement,

va permetre de combinar el coneixement geogràfic, teòric i pràctic, amb la informació dels portolans, i partint d'aquesta combinació es confeccionarien cartes nàutiques concretes.

Com a conclusió, sembla assenyat pensar que la carta nàutica es va desenvolupar en un medi afí, la Mediterrània, en un moment concret, a finals del segle XIII o principis del XIV, a causa dels motius esmentats i, ateses les relacions de tota mena entre italians i catalans, probablement caldria pensar en un origen mediterrani comú, deixant de banda definitivament la vella polèmica.

Aquest desenvolupament en un medi, més que en un país, es confirma per les paraules d'Opicino de Canistris (1296-1350), un clergue italià de Pàdua, format a Gènova, que confegeix mapes a la cort d'Avinyó. Opicino parla dels «mappa maris navigabilis secundum Ianuenses et Maioricenses»¹¹ i, tot i ser italià, no atribueix cap mena d'ascendència dels uns sobre els altres.

També ho confirma la crònica de Giovanni Villani,¹² segons la qual, genovesos, venecians i catalans van introduir, a principis del segle XIV, l'ús de la coca baionesa de tradició nòrdica, la qual cosa vol dir que, en qüestions de navegació, catalans i italians anaven alhora.

11. Joan AINAUD DE LASARTE, «Visió de conjunt», *L'Atlas català de Cresques Abraham*, Barcelona, Diàfora, 1975, p. 56-58; R. G. SALOMON, «Opicinus de Canistris: Weltbild und Bekenntnisse eines Avignonesischen Klerikers des 14. Jahrhunderts», *Studies of the Warburg Institute* (Londres), núm. 1, A i B, (1936); «A Newly Discovered manuscript of Opicinus de Canistris», *Studies of the Warburg and Courtald Institutes* (Londres), núm. 16 (1953), p. 45-57, i «Aftermath to Opicinus de Canistris», *Studies of the Warburg and Courtald Institutes* (Londres), núm. 25 (1962), p. 137-146.

12. Giuseppe CARACI, «Viaggi fra Venezia ed il Levante fino al XIV e la relativa produzione cartografica», *Venezia e il Levante fino al secolo XV* (Florència), núm. 1 (1973), p. 147-184.

Finalment, i sense afany de ser exhaustius, a la carta de 1403, que es conserva a la Universitat de Yale, de Francesco Beccari,¹³ un italià que va treballar als tallers de cartògrafs de Barcelona, llegim una referència als «magistri cartarum tam Catalanj Veneti Januenses quam alij qui cartas nauigandi fecerunt...». És a dir, als mestres de cartes, tant catalans, venecians i genovesos —tots al mateix nivell—, com a d'altres —sembla que no tan importants— que feren cartes de navegar.

4. LES TERRES DE L'INTERIOR A LES CARTES NÀUTIQUES

Ara bé, tornant a la terra, que és el tema que aquí ens interessa, ja hem vist que, malgrat que la carta nàutica era bàsicament un instrument de navegació, una bona part d'aquestes cartes duen representacions de les terres de l'interior que, tal com hem avançat, ofereixen un seguit d'informacions d'interès històric, econòmic i social. A continuació en veurem una selecció d'exemples: *a*) països (l'Índia i el seu entorn), *b*) rius (branca atlàntica del Nil), *c*) llegendes (etnogràfiques, econòmiques, geogràfiques, etc.) i *d*) iconografia (simbologia).

a) Països

La representació en una carta no únicament dels mars sinó també de les terres d'un país, el seu coneixement o desconeixement, etc., ens pot furnir molta informació. Tenim, per exemple, el cas de l'Índia i el seu entorn.

Ptolemeu considerava l'oceà Índic com una mena de llac, envoltat de terres per totes bandes.

13. Tony CAMPBELL, «Portolan Charts...», p. 371-463, esp. 428.

Ara bé, els cartògrafs àrabs, seguint al-Bīrūnī (c. 1000), especialment famosos per les obres que va compondre sobre astronomia i geografia matemàtica i per la seva descripció de l'Índia, on va viure una llarga temporada, mostren un oceà Índic obert, molt abans que Vasco da Gama descobrís la ruta cap a l'Índia l'any 1497, tot i que allarguen el sud d'Àfrica cap a l'est. Aquesta característica, però, no només la trobem en molts mapes àrabs, sinó també en diversos mapes catalans i italians, previs al viatge de Vasco da Gama. Per exemple:

- El mapa d'al-Idrīsī en la seva obra *Nuzhat al-muxtāq* (1154). Còpies des del 1300.
- El mapamundi català de Mòdena (c. 1450),¹⁴ un mapamundi circular que conté totes les característiques de la cartografia mallorquina i que alguns investigadors han atribuït a Pere Rosell.
- El mapamundi de fra Mauro, 1459,¹⁵ monjo camaldulenc venecià, fet per encàrrec d'Alfons V de Portugal, dóna els noms de diversos ports de la costa est o índica d'Àfrica, com Mombasa, Zanzíbar, Kilwa, o Sofala (Kenya, Tanzània i Moçambic), reconeguts centres de comerç àrabs, abans que fossin coneguts pels portuguesos. A part de tenir accés a informacions de procedència àrab, el mapamundi de fra Mauro inclou moltes dades recollides de les cartes nàutiques, algunes d'origen mallorquí.

127

De tota manera, seguim veient en mapes europeus, com el mapamundi de Pirras Noha, de 1414, que acompa-

14. Biblioteca Estense, C.G.A. 5d, de Mòdena.

15. Biblioteca Marciana de Venècia.

nya una cosmografia de Pomponius Mela, o el de la Margari-
ta Philosophica, de G. Reich (Estrasburg, 1504), l'oceà Índic
en forma de llac. En aquests mapes trobem un intent de com-
binar les traduccions llatines tardanes de Ptolemeu amb la
iconografia d'al-Idrīsī.

Al-Bīrūnī fou també el primer de considerar l'Índia
com una península que penetrava dins l'oceà Índic. Aquesta
característica, que tampoc no es troba a Ptolemeu, aparei-
xerà en mapamundis àrabs i europeus des del segle XIII si més
no. Per exemple a l'*Atlas català* de Cresques (1375).

b) *Rius*

La descripció dels rius que, en principi i llevat de les seves go-
les, no té interès per a la navegació, ens aporta també altres
informacions. Entre les descripcions característiques de les
cartes nàutiques mallorquines o catalanes trobem el Danubi
en forma de cadena i el Tajo, com una gaiata, el mànec corbat
de la qual sol envoltar la ciutat de Toledo. Però el riu que pre-
senta unes característiques més curioses és el Nil.

M'agradaria parlar, per començar, de les fonts del Nil,
perquè a la major part de la cartografia àrab, des dels temps
d'al-Ma'mūn (segle IX) i seguint al-Ḥwārizmī, trobem un
fantàstic disseny que representa les fonts del Nil a les Mun-
tanyes de la Lluna (*jabal al-qamar*). Aquest curiós dibuix el
trobem també en abundants obres europees, italianes, portu-
gueses i holandeses, fins a mitjan segle XVI, tot i que no apa-
reix a les cartes nàutiques mallorquines, i no hi pot aparèixer
perquè no arriben tan avall.

El que sí que apareix en pràcticament totes les cartes
nàutiques mallorquines és el que anomenem *branca atlàntica
del Nil*.

Els rius Senegal i Níger conformen en la cartografia

àrab i en molta de l'europea medieval la llegendària branca atlàntica del Nil. Ja en els mapes d'al-Idrīsī, el que hauria de correspondre als rius Senegal i Níger apareix com un únic riu, que de fet és una branca del Nil, i no només ho veiem representat en el mapa sinó que al costat de la gola del riu, a l'Atlàntic, hi ha una llegenda que diu: «masabbu nīl al-sudān fl 'l-baḥr al-muṭlim» (desembocadura del Nil del Sudan a l'oceà Tenebrós, és a dir, l'Atlàntic). Macià de Viladestes, en la seva carta de 1413, l'anomena *Ued (Wād) Anil* (an-Nīl), és a dir, riu Nil.

Aquesta representació errònia serà precisament una de les característiques de bona part de les cartes nàutiques mediterrànies i dels mapamundis de l'època. Entre els àrabs i els catalans, cal destacar els següents:

- *Masālik al-abṣār* d'Ibn Faḍlallāh al-^cUmarī (m. 1349), derivat del d'Abū M. ^cAbd Allā ibn Abī Nu^caym al-Anṣārī, de Còrdova (c. 1325).¹⁶
- La carta nàutica dels germans Pizigani o Pizigano, del 1367, d'influència mallorquina.¹⁷
- *L'Atlas català* (Cresques), Mallorca, 1375.¹⁸
- La carta nàutica de Macià de Viladestes (1413).¹⁹
- La carta nàutica de Gabriel de Vallseca (1439).²⁰
- El mapamundi català de Mòdena (c. 1450).
- La carta nàutica de Juan de la Cosa (costa d'Amèrica) (Sevilla, 1500).²¹
- El mapamundi de Joan Martines (1587), on apa-

16. Topkapi Saray, Istanbul, A2797, folis 292v-293r.

17. Parma, Biblioteca Palatina, Parm. 1612

18. *L'Atlas català de Cresques Abraham*, Barcelona, Diàfora, 1975.

19. Biblioteca Nacional de París. Ge. A. A. 566.

20. Carta de l'Institut d'Estudis Catalans, avui al Museu Marítim de Barcelona.

21. Museu Naval de Madrid.

reixen moltes altres característiques d'al-Idrīsī, com el molt especial disseny de les fonts i goles dels rius.²²

- I, finalment, la carta nàutica d'al-Sharafī al-Şfaqsī (1592), copiada segons ell mateix ens diu d'una carta nàutica que havia fet el seu avi, qui l'havia copiada d'una carta mallorquina,²³ i que ens diu:²⁴ «He copiat aquest mapamundi d'un altre que va dibuixar el meu avi Muḥammad [...] qui va copiar les costes i els ports del mar de Siro (Mediterrani) d'un qunbāş fet pels mallorquins». La part occidental del mapa té moltes de les característiques mallorquines (Atlas en palmera, Bohèmia en ferradura, Alps en pota d'au, Danubi en cadena, Tajo en forma de gaiata i roses dels vents a dojo). Mentre que la part oriental és del més pur estil Idrīsī.

c) *Iconografia*

Un exemple curiós, pel que fa a la iconografia, és el de la carta del Mediterrani de Joan Vespucci (1520), conservada a l'Arxiu General d'Índies de Sevilla, que no és catalana, però sí que deriva d'originals catalans. És gairebé coincident amb la carta de Vallseca de 1439, la qual, no ho oblidem, va ser comprada per Amerigo Vespucci i utilitzada com a padró pels cartògrafs de la Casa de Contratación de Sevilla.

22. Museu Britànic, Harleian ms. 3489, Londres.

23. Biblioteca Nacional de París, Rés. Ge. C. 5089.

24. Mapamundi de 1579. C. A. NALLINO, «Un mappamondo arabo disegnato nel 1579 da "Ali ibn Amad al-Sharafī di Sfax», *Bollettino della Reale Società Geografica Italiana*, núm. 53 (1916) [en àrab], i S. SOUCEK, «Islamic Charting in the Mediterranean», *The History of Cartography*; vol. II, núm. 1, 1992, traduït a l'anglès.

Doncs bé, el cas de la carta de Joan Vespucci és força curiós. L'any 1520, Joan Vespucci, pilot de la Casa de Contratación de Sevilla, dibuixava per encàrrec del rei Carles I una carta del Mediterrani. En aquesta carta apareixen set monuments idèntics, que representen set ciutats, però pintats de dos colors diferents: verd i vermell. En principi, això no sembla dir-nos res de nou, però si, com fa Cerezo,²⁵ ho estudiem des del punt de vista de la política del moment, veiem que el color té una significació molt important. En aquesta història hi ha diversos punts a destacar:

- Per començar, Carles I encarrega una carta de la Mediterrània a Sevilla, on bàsicament es feien cartes de l'Atlàntic i dels nous descobriments, en un moment en què l'interès per fer cartes de la Mediterrània ja gairebé s'ha perdut.
- En aquesta carta figuren tres monuments, que representen tres ciutats, en color vermell, quan els altres monuments, situats a la península Ibèrica, l'Europa central, l'Orient Mitjà i el nord-oest d'Àfrica, són verds. Aquests tres monuments vermells corresponen a les ciutats de Tunis, Milà i Belgrad, que són, si considerem el moment històric, els tres focus d'amenaça més importants per a Carles I, després que el 1519 Francesc I de Valon declarés les hostilitats en contra de Carles I, quan aquest fou elegit emperador, que portarien a la guerra de 1521.
 - Milà: és un ducat de Francesc I estratègicament situat entre els regnes d'Itàlia i el centre de l'Imperi europeu de Carles I.

25. Arxiu General d'Índies de Sevilla. Ricardo CERESO MARTÍNEZ, *La cartografía náutica española en los siglos XIV, XV y XVI*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1994, p. 42-43.

- Tunis: des de l'ocupació otomana de 1520, amenaça el sud mediterrani, especialment Sicília i Nàpols. Per altra banda, Francesc I manté una política d'amistat amb el soldà otomà.
- Belgrad: al sud dels Balcans, representa una altra greu amenaça per a Europa, especialment després que, el 1521, fos ocupada per Solimà II.

De manera que el fet que una ciutat es pinti d'un color o un altre, de vegades no responia a raons estètiques, sinó que tenia altres implicacions.

De fet, cada mapa o carta no és un sistema de símbols, i el seu disseny és part del llenguatge de la comunicació.

d) Llegendes

132

Les llegendes que trobem a les cartes encara ens aporten molta més informació, i no només sobre les influències entre cartògrafs, que són evidents quan es copien les llegendes dels uns als altres, sinó sobre moltes altres coses.

Per exemple, sobre les fonts utilitzades pels cartògrafs, que no són únicament documentals sinó que es basen també en els relats dels pilots de les naus i els viatgers de tota mena. Francesco Beccaro, el cartògraf que va treballar a Barcelona amb Jaume Ribes, abans Jafudà Cresques, a la seva carta de 1403, ens proporciona en una llegenda una dada important. Especifica que en aquesta carta ha canviat la situació de l'illa de Sardenya perquè diferents pilots i homes de mar li han dit que a les cartes anteriors aquesta illa no es trobava en el lloc correcte.

També les cartes ens informen dels nous descobriments. A l'*Atlas català* i a la carta de Viladestes apareix el vaixell (l'uixer) amb el qual va partir Jaume Ferrer el dia de Sant Llo-

renç, és a dir, el 10 d'agost —aclareix la llegenda— de l'any 1346 cap a Riu d'Or, possiblement a la recerca d'un camí més fàcil que el que s'havia de fer creuant el nord d'Àfrica.

Per exemple, Vallseca a la carta de 1439 en referir-se a les Açores ens informa que: «aquestes illes foren trobades per Diego Sunis pelot del rey de Porogall en l'any MCCCCXXII».

En el mapamundi de Joan Martines (Nàpols, 1591)²⁶ apareix, al sud de l'Amazones, en la carta V, la inscripció següent: «este strecho fue descubierto por fernando magallanes dia de las onze mil virgenes Año 1520».

I, més endavant, «canal descubierto por nugnons de silua piloto portugues de francisco drache».

A la carta VII (Amazones) d'un atlas català anònim del XVI,²⁷ atribuït a Joan Martines, trobem la inscripció següent: «este rio descubrio dende su nacimiento fracº de orellana el año 1544».

A molts mapamundis i cartes, com per exemple a l'*Atlas català*, trobem també detalls de la vida social dels pobles. L'*Atlas* descriu els habitants del Sàhara occidental de la manera següent: «tota aquesta pertida tenen gens qui son embossats que no.ls veu hon sino los uyls, e van en tendes e fan cavalcades ab camels...».

També ens parla, l'*Atlas català*, igual que el fragment de la carta catalana d'Istanbul atribuït a Dulcert o al seu taller, del costum, ja conegut en fonts històriques anteriors, de la cremació dels morts a l'Índia i que les viudes es llances-sin al foc que cremava les restes del seu marit, però es mostra sorprès en constatar que els vidus no fan el mateix.

Dulcert, Cresques i més endavant Pietro Russo comenten a les seves cartes que la mar Bàltica està gelada sis mesos

26. Carta en possessió de Benjamín Ventura de Madrid, segons Rey Pastor i García Camarero.

27. Museu Britànic, add. ms. 9814, Londres.

l'any, a causa de «la fredor de la tramuntana», com diu Cresques, i que pot ser creuada amb carro de bous.

Dins aquest camp, que podríem anomenar *costumista* o *etnogràfic*, podem incloure les referències de tipus religiós, de vegades sorprenents. Pràcticament tots els cartògrafs mallorquins parlen del freu pel qual les tribus d'Israel creuaren el mar Roig i del mont Sinaí on Déu va donar les taules de la llei a Moisès. Aquest fet, juntament amb el mar Roig pintat de vermell, ha estat considerat un dels trets més clàssics de la cartografia mallorquina i, sovint, s'ha vist com a reflex del judaisme dels primers cartògrafs, i de molts dels cartògrafs posteriors que, com Jafudà Cresques, van haver de convertir-se a la força i prendre un nom cristià, Jaume Ribes en el cas de Jafudà. Bé, doncs, si estudiem el mapamundi de Hereford,²⁸ de finals del segle XIII (c. 1270) i sorgit en el medi eclesiàstic britànic, veiem que no només hi apareix el mar Roig pintat de vermell, sinó que també hi trobem la figura de Moisès rebent les taules de la llei amb la corresponent inscripció i el pas dels fills d'Israel.

Al meu entendre, el judaisme de l'*Atlas català* no necessita aquesta mena d'arguments, perquè n'hi ha un de molt més poderós. La referència a Jesús com l'anticrist. Diu Cresques, al costat de la miniatura que el representa: «Antechrist. Aquest serà nudrit en Goraym de Galilea e can haurà xxx anys començarà a preicar en Jherusalem e contra tota veritat dirà que ell es Christ, fill de Deu viu, e diu-se que rehedificarà lo Temple». Com diu Llompart,²⁹ la puntada anticristiana és clara. De fet, no pot ser més contundent.

El pelegrinatge, sigui jueu, cristià o musulmà, també hi és representat. Roma i Avinyó, seus papals, Sant Jaume de Galícia, els monestirs de Santa Caterina, al Sinaí, i els de Sant Ma-

28. Scott D. WESTREM, *The Hereford Map*, Brepols, 2001.

29. Gabriel LLOMPART I MORAGUES, «Aspectes iconogràfics», *L'Atlas català de Cresques Abraham*, p. 41-55, esp. 51.

teu i Sant Tomàs, a l'Àsia, i Jerusalem, també sota el nom de Sant Sepulcre, comú per a jueus i cristians. De fet, ens consta que de Mallorca sortien vaixells amb viatgers jueus i cristians que anaven conjuntament a fer la peregrinació a Jerusalem. Per als jueus se'ns pinta també el mont Sinai, on Déu va lliurar les taules de la llei a Moisès, i sovint aquesta llegenda apareix de color vermell, quan la resta són fetes amb tinta negra. I, pel que fa als musulmans o sarraïns, se'ns parla de Mahoma, de la Meca, dels llocs pels quals passaven els musulmans en el seu camí de pelegrinatge i dels seus costums i creences.

També ens informen les cartes de quina és la llengua i la religió dels habitants d'una regió. Per exemple, en diverses cartes diuen que els habitants de la «Insula de Stilant» o «Illa Stillandia» —sembla una barreja entre les Shetland i Islàndia— tenen la llengua de Noruega i són cristians, i que els d'Aràbia són musulmans.

De vegades ofereixen altres detalls lingüístics. Diu Cresques en parlar de la serralada de l'Atlas: «Tota aquesta muntanya de lonch es apellade Carena per serrayns e per crestians es apellada Muntis Claris».

Les cartes ens ofereixen, sovint, detalls de la vida econòmica dels pobles. Ens parlen de quina mena de mercaderies es poden aconseguir en cada lloc i quina és la ruta que les fa arribar als diversos destins, llistes dels productes que es poden adquirir en un lloc determinat, dades sobre les possibilitats de comerciar-hi, etc., impostos que s'han de pagar, etc. Per exemple, en parlar de Java i Sumatra, l'*Atlas català* ens proporciona la llista de productes de la zona: «aloes, canfora, especies subtils, garenga, nou moscada, arbres de canyella, etc.». I a Aràbia ens diu que hi abunden els perfums, com la mirra i l'encens, or, plata i pedres precioses.

En parlar d'Àfrica ens diu que en aquelles contrades hi ha molt d'ivori a causa de la gran quantitat d'elefants que hi viuen.

A la zona magribina de la serralada de l'Atlas ens asenyala el lloc pel qual passen els mercaders en la seva ruta cap a Guinea. Diu que és la «vall de Darcha», que podria ser la vall del Draa, on efectivament es troba una de les entrades al desert i, de fet, hi ha un cartell que indica la distància fins a Tombouctou, a Mali, camí de Guinea, seguint la vall del Níger.

I a la costa del mar Roig ens parla de la ciutat de «Chos», port fluvial del Nil, anomenat avui *Qus*, per on passaven les mercaderies que, procedents de l'Índia, arribaven a Egipte, al port de Queseir, al mar Roig. I ens diu: «En aquesta ciutat de Chos aportan la especiaría, la qual ve de les Índies, puy s'aportan a Babilonia», és a dir, el Vell Caire, «e en Alexandria.»

I l'anònim mallorquí del XV, conservat a la Biblioteca Nacional de Florència,³⁰ adverteix al mercader que: «en lo capo de la anteadada de la mar royo a un castell que es apellat adep a qui prene la desena p(ar)t. de les spezias e daltres mercaderies que porten na(ve)g(ant) de les indies».

I no devia ser mal negoci, perquè Cresques ens diu a l'*Atlas català* que pel mar Roig passa la major part de les espècies que arriben a Alexandria procedents de les Índies.

L'altre camí era a través de Síria. A l'alçada de Bagdad, l'*Atlas* situa una inscripció creuant el Tigris, que diu: «Açí fo Babillònia la gran, on estava Nebocadenor [Nabucodonosor] la qual es apellada Baldacha. E sepiats que en aquesta ciutat se porta molta especiaría e moltes nobles coses les quals venen de les Índies e depuyx s'escampen per la terra de Síria [Suriyya, en àrab] i espeçialament en la ciutat de Domasc.»

A la carta II de l'atles català anònim del segle XVI, atribuït a Joan Martines, que correspon a l'Índia i la Indoxina: «estas islas son de maluccos de donde viene la especiaría»

30. Port. N. 16.

i «en esta illa mataron a magallanes de la banda del Sur de la dicha ysla».

Aquest tema es relaciona també amb la biogeografia, ja que moltes de les mercaderies, com hem vist, procedeixen de la flora i la fauna dels països descrits.

A les cartes també hi apareixen trets fantasiosos, però són pocs comparats amb la bibliografia geogràfica que sembla que manegin. Per exemple, és ja clàssica la menció als diversos tipus de sirenes, que apareixen no només a l'*Atlas català* sinó en altres cartes també. «Miga fembra i miga peix i miga fembra i miga auçell», segons l'*Atlas català*, que localitza, però, en indrets llunyans i per tant força desconeguts.

Les llegendes que apareixen en moltes de les cartes proporcionen, doncs, un cabal d'informació importantíssim, tant per descobrir les fonts utilitzades en la fabricació de les cartes com pel que fa als coneixements del moment. Malgrat tot, les hem d'utilitzar amb precaució, perquè en copiar-se unes cartes de les altres de vegades la informació arriba ja amb un cert retard.

No és el cas, però, del canvi de bandera de la ciutat de Granada, que apareix a les últimes cartes del segle XV (1487)³¹ sota l'ensinya de l'Islam i a la primera del XVI (1501), de Joan Ortis,³² sota la de Castella i Lleó.

Ni tampoc el del corsari i almirall Pirī Re'īs, que ja al fragment de l'any 1513 mostra les costes d'Amèrica, fragment en el qual, per cert, apareixen certs elements de la cartografia catalana, com el Tajo en gaiata. Ell mateix, en el *Kitab-i Bahriye* (1521),³³ ens diu que disposava d'una carta que havia estat propietat de Colom i que també es va inspi-

31. Arxiu de l'Estat de Florència, núm. 8.

32. Servei Geogràfic de l'Exèrcit, Madrid.

33. El mapa de 1513 es conserva al Topkapi Saray d'Istanbul. Vegeu també Pirī Re'īs, *Kitab-i Bahriye*, Ankara, 1988, 4 v., edició fac-símil de l'Istanbul Research Center.

rar en les notícies que un captiu castellà —que afirmava haver participat en els tres viatges de Colom— va proporcionar al seu oncle Kemal Re'is, corsari com ell.

5. CONCLUSIONS

En conclusió, el que acabem de veure ens mostra que les terres de l'interior de les cartes nàutiques ens proporcionen una informació, molt interessant i no del tot aprofitada, que caldrà seguir investigant amb calma i precaució. Aquestes informacions ens permeten de conèixer detalls de caire històric, geogràfic, econòmic, etnogràfic, etc., de l'època en què es va desenvolupar la cartografia, tal com l'entendem avui, perquè de mapes n'hi ha hagut des que el món és món, pràcticament.

També hem vist com els cartògrafs es nodrien de tota mena de dades, ja fossin tècniques o pràctiques, ja procedissin de llibres, mapes, relats de mariners, viatgers, pelegrins o comerciants. Acabem de veure que a Venècia i a Mallorca la gent emprava informacions de tota mena per construir els seus mapamundis i cartes de navegació, i no esperava que els portuguesos li diguessin on i com era l'Índia o quins eren els centres comercials de l'est d'Àfrica per representar-los als seus mapes si disposaven d'aquesta informació, procedís la font d'on procedís.

Voldria acabar dient que tot el que hem vist és només una mostra, que d'informació per extreure n'hi ha moltíssima més. Malgrat que, tot i que molts mapes han estat ben estudiats i editats, altres encara esperen algú que els dediqui el temps i l'esforç necessaris per tal d'extreure'n les informacions que contenen. Espero que algun dia entre tots ho aconseguirem.

SOCIETAT CATALANA
DE GEOGRAFIA
RESPOSTA DELS SÒLS
A L'ABANDONAMENT
DE LA MUNTANYA:
EL PIRINEU CATALÀ,
A CÀRREC DE
JOAN MANUEL SORIANO
I DAVID MOLINA,
DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA
DE BARCELONA

L'actual model econòmic de desenvolupament, vigent des de fa algunes dècades, és, sens dubte, un dels principals responsables de la dinàmica demogràfica que es dona en tots els estats del món occidental. Aquesta dinàmica es concreta, a grans trets, en una migració generalitzada del camp a la ciutat, de l'àmbit agrari i ramader als espais metropolitanans. És el que s'ha convingut anomenar *èxode rural*.

La situació en el nostre país no és diferent, ans al contrari: la major part de municipis rurals (és a dir, tots aquells que no es troben inclosos en els conjunts metropolitanans, ni formen part del litoral turístic ni els corresponents a les majors capitals comarcals) han perdut, en major o menor grau, una bona quantitat de població. Aquest procés s'inicià a mitjan segle XIX i ha implicat de manera progressiva la transferència de població des dels petits nuclis rurals fins als centres comarcals i a les grans àrees urbanes. La impossibilitat d'adequar un gran nombre d'explotacions agrícoles tradicionals a l'economia de mercat ha redefinit el concepte d'*espai marginal*, tot eixamplant de manera creixent els seus límits. Gran nombre del que actualment anomenem *espais naturals*, antany formaven part dels espais marginals de la frontera agrícola del segle XIX, utilitzats amb menys intensitat com a recurs alimentari, energètic, ramader o agrícola circumstancial (artigues). L'extensió de la marginalitat vers terrenys agrícoles ha provocat una «naturalització» d'aquest espai amb un seguit de conseqüències en els vessants natural i social d'aquests àmbits rurals.

Si centrem l'atenció en els territoris de muntanya, podem comprovar que la magnitud o la intensitat del fenomen que hem descrit suara adquireix dimensions molt superiors: l'anàlisi de la situació de les sis comarques pertanyents a l'Alt Pirineu (Alt Urgell, Alta Ribagorça, Cerdanya, Pallars

Jussà, Pallars Sobirà i Val d'Aran) confirma que més de cent nuclis de població estan totalment deshabitats i una xifra lleugerament similar són habitats per tres famílies o menys (sempre menys de deu persones). Efectivament, el conjunt d'aquestes sis comarques, que ocupen una superfície corresponent al 18% del territori català, acull actualment l'1% de la població de Catalunya, és a dir 66.067 habitants, segons dades del cens de 2001.

L'efecte immediat d'aquest procés de despoblament de les comarques de muntanya és l'abandonament del territori en sentit ampli, és a dir, la major part dels espais muntans antigament o recentment conreats, pasturats, explotats forestalment, etc. ara han deixat de ser utilitzats, de ser gestionats.

L'ABANDONAMENT DE LA MUNTANYA

A partir de la consulta de diverses fonts, treballs i recerques —publicades o inèdites— i per mitjà de diverses tècniques i metodologies (palinologia, antracologia, reconstitució fotogràfica, buidatge d'arxius, treball de camp, etc.) s'ha pogut constatar que, de manera generalitzada, els territoris de muntanya han experimentat una profunda transformació del paisatge. El sentit d'aquesta transformació és la progressió generalitzada de l'espai forestal, l'extensió sobre el terreny dels boscos i dels matolls, en detriment de la superfície conreada i pasturada. A tall d'exemple, podem comparar les figures 1 i 2, corresponents al sector occidental del vessant septentrional de la serra del Cadí (indret proper a Cava, municipi de l'Alt Urgell): la primera representa com podia ser el paisatge d'aquest espai pels toms de l'any 1900, amb el bosc confinat a les parts més altes i abruptes, mentre que els conreus i els prats de pastura ocupaven tot l'espai potencialment apte (entesa l'expressió en sentit molt ampli) per a tal ús.

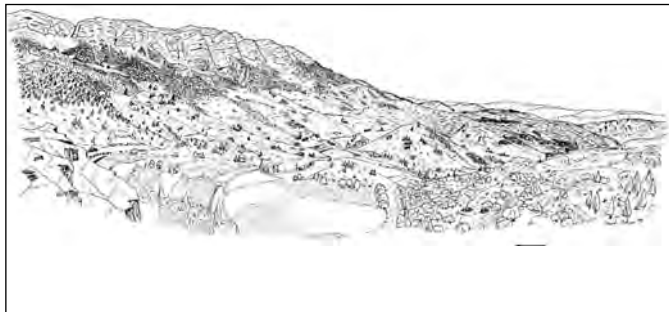


FIGURA 1. *Representació del vessant nord de la serra del Cadí a principis del segle XX (dibuix de David Molina, 2000).*

La segona figura correspon al paisatge actual: el bosc ha recuperat pràcticament tot l'espai que li havia estat arrabassat i ara ocupa els indrets més costeruts i obacs, però també els més plans i assolellats; les parts més altes, prop de les carenes —on recupera a poc a poc, tímidament, el seu límit altitudinal— i les més properes al fons de la vall. No és poc negar que l'augment de la superfície forestal és espectacular, s'hi ha produït un tancament i una homogeneïtzació quasi totals.

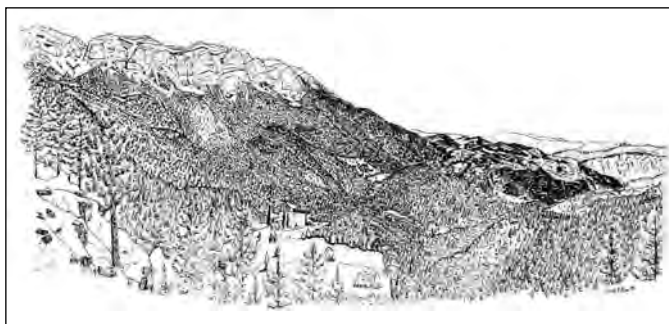


FIGURA 2. *Representació del vessant nord de la serra del Cadí l'any 1998 (dibuix de David Molina, 2000).*

Una altra manera de constatar aquest fenomen és comparant com ha variat al llarg del temps la superfície ocupada per conreus: les figures 3 i 4 corresponen a l'antic terme municipal de Tuixén, i s'hi ha representat, respectivament, la màxima extensió dels conreus (possiblement corresponent a mitjan segle XIX) i l'àrea ocupada pels camps de conreu l'any 1994 (molt similar a l'actual, l'any 2002). Des d'un punt de vista quantitatiu, s'ha passat de 940 ha (el 25 % de la superfície del terme) a 132 ha (el 3,5 %). Des del punt de vista qualitatiu, han desaparegut tots els conreus de cereals, tubercles, vinya..., i actualment tot es dedica a farratge i a la producció de pinso per al bestiar.

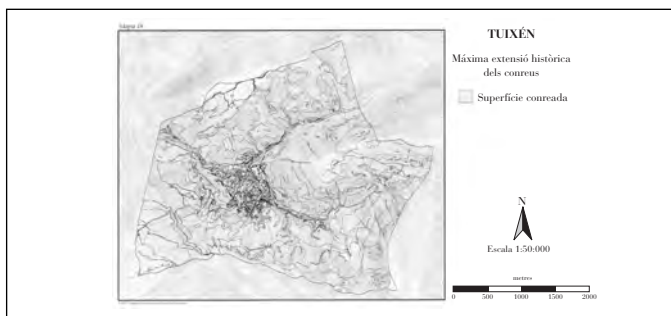


FIGURA 3. *Superfície ocupada pels camps de conreu a mitjan segle XIX.*



FIGURA 4. *Superfície ocupada pels camps de conreu l'any 1994.*

Hi ha infinitat d'exemples com aquest per tot el Pirineu, si més no en l'àmbit de les sis comarques en què hem situat l'estudi: Alt Urgell, Alta Ribagorça, Cerdanya, Pallars Jussà, Pallars Sobirà i Val d'Aran (vegeu la figura 5).

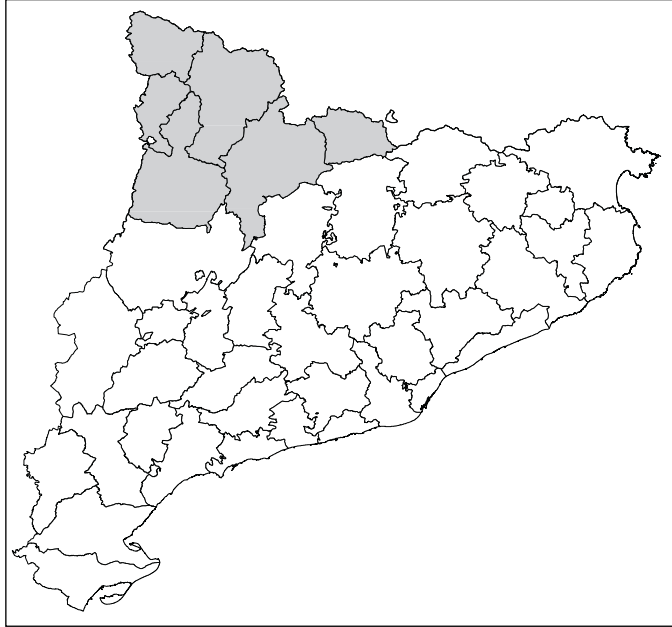


FIGURA 5. Àmbit de les comarques de l'Alt Pirineu occidental.

EL DESPOBLAMENT

Evidentment, l'explicació d'aquests canvis es troba en l'abandonament generalitzat de la gestió dels territoris de muntanya per part de la població. I aquest abandonament té la seva causa immediata —si més no al llarg de quasi tot el segle XX— en el procés de despoblament que han experimentat aquestes co-

marques de muntanya: efectivament, per al conjunt d'aquestes sis comarques, la població ha passat de més de 100.000 persones l'any 1857 (on es troba el màxim de població per al conjunt de les comarques de muntanya) a poc més de 65.000 en el darrer cens, el corresponent a l'any 2001. Això representa una davallada de més d'un terç (vegeu la figura 6). El descens de la població no es manté, sinó que s'alternen fases de davallada més acusada amb períodes d'una certa estabilització i fins una lleugera remuntada. Però la diferència esmentada entre el principi i el final és aclaparadora. Comentari a part mereix la reactivació final, que veurem més endavant.

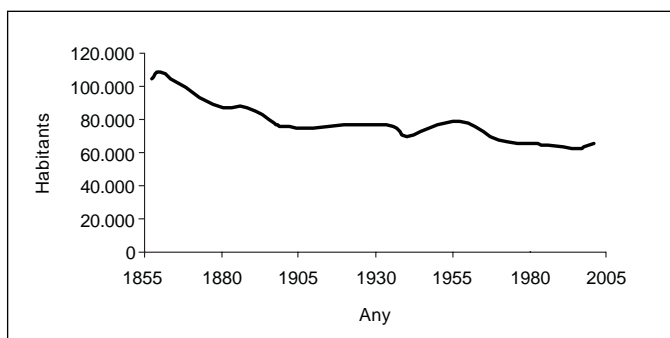


FIGURA 6. Evolució de la població de l'Alt Pirineu occidental entre 1857 i 2001.

Però si canviem l'escala d'anàlisi i observem la tendència comarca a comarca, veurem que hi ha diferències significatives (vegeu la taula 1): mentre que el Pallars Sobirà i el Pallars Jussà perden prop de dos terços de la seva població, l'Alt Urgell, la Val d'Aran i l'Alta Ribagorça *només* han perdut entre un terç i un quart dels habitants; mentre que la Cerdanya es manté pràcticament estable, ja que en aquests quasi cent cinquanta anys la diferència de població només és de noranta-quatre persones menys.

TAULA 1. *Comparació de la població de les comarques del Pirineu entre 1857 i 2001*

	<i>cens 1857</i>	<i>cens 2001</i>	<i>diferència</i>	<i>%</i>
Pallars Sobirà	18.762	6.140	12.622	67,27
Pallars Jussà	28.844	12.390	16.454	57,04
Alt Urgell	26.048	19.466	6.582	25,27
Alta Ribagorça	4.600	3.617	983	21,37
Val d'Aran	9.908	7.938	1.970	19,88
Cerdanya	14.609	14.515	94	0,64
Total Alt Pirineu	104.628	66.067	38.561	36,86

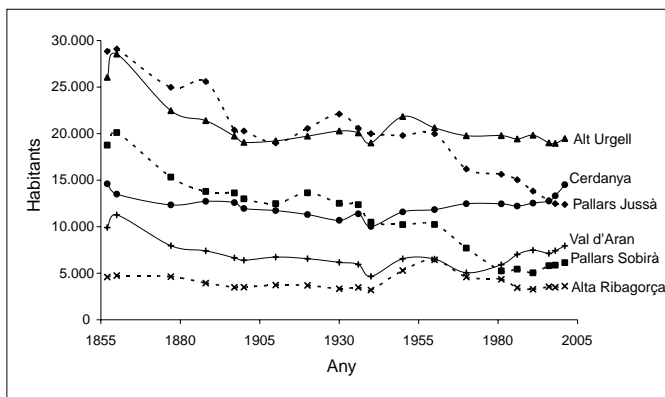
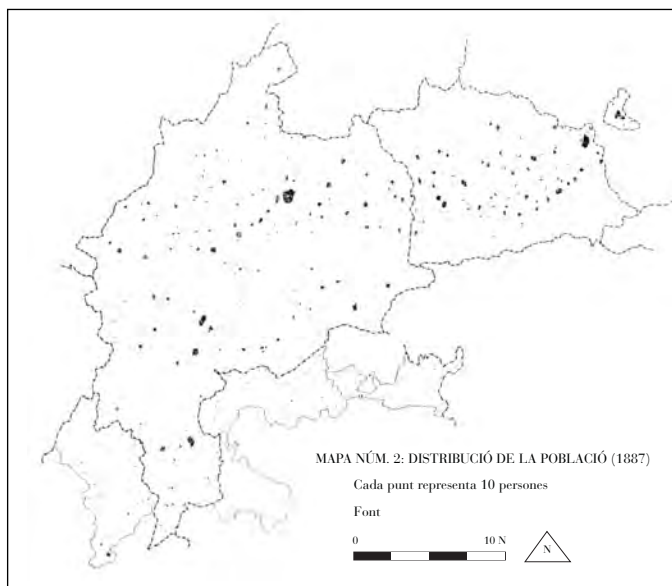


FIGURA 7. *Evolució de la població de les comarques de l'Alt Pirineu occidental entre 1857 i 2001.*

Si augmentem l'escala i passem de l'àmbit comarcal al municipal, i prenem l'exemple més exagerat, el del Pallars Sobirà, podem veure que efectivament tots i cadascun dels seus municipis —inclosa la capital, Sort— perden població. En el cas de l'Alt Urgell, que perd prop d'un terç dels habitants, hi ha un parell de municipis que no sols no en perden, sinó que en guanyen, i força —sobretot la Seu d'Urgell. Això significa que la resta de municipis perden encara més població que la que deixa entendre la xifra global de la comarca.

Però encara podem afinar més: per als efectes que ens interessa, ens cal mirar aquest territori gairebé amb lupa. Les figures 8 i 9 corresponen a les comarques de la Cerdanya i l'Alt Urgell i presenten la distribució real de la població en el territori —inclou tots els nuclis de població, tant la capital municipal com els altres, els veïnats, les masies i la població dispersa en general— respectivament per als anys 1887 i 1981.¹



147

FIGURA 8. *Distribució de la població a la Cerdanya i l'Alt Urgell l'any 1887.*

1. El cens de l'any 1887 és el primer que millor presenta la població amb el nivell de detall que s'ha esmentat. Pel que fa a 1981, es tracta d'un estudi realitzat anteriorment pels mateixos autors i que es troba en procés d'actualització.

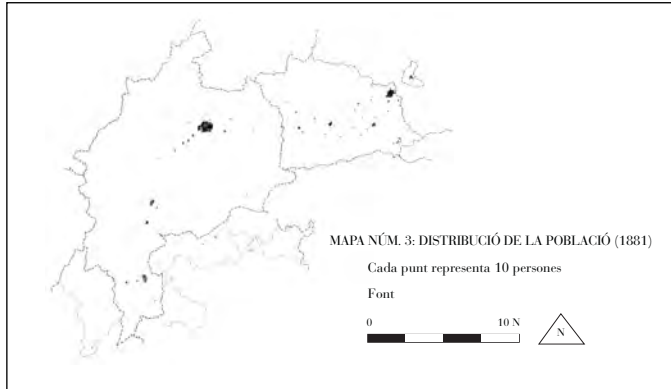


FIGURA 9. *Distribució de la població a la Cerdanya i l'Alt Urgell l'any 1831.*

148

No cal fer una observació gaire atenta per a adonar-se que en els quasi cent anys transcorreguts només hi ha uns quants nuclis que guanyen població: la Seu d'Urgell, Oliana i Puigcerdà. Tots els altres nuclis s'encongeixen de manera dràstica o bé simplement desapareixen. Efectivament, el resultat és un buidament exagerat de la major part del territori, fins i tot a la Cerdanya, on la xifra global (recordem que tan sols ha perdut noranta-quatre habitants) pot emmascarar la veritable dimensió del despoblament i, per tant, de l'abandonament real de la immensa majoria del territori.

CANVIS EN EL PAISATGE

Però el que ens interessa més de tot això és la incidència que té aquest procés de despoblament sobre el territori, sobre el paisatge: hem d'acabar explicant i interpretant les imatges diacròniques comentades anteriorment (vegeu les figures 1 a 4). Un dels llocs on hem treballat és l'àmbit del Parc Natural del

Cadí-Moixeró, on s'ha quantificat l'extensió de cadascun dels quatre grans usos (agricultura, ramaderia, boscos i superfície improductiva). A la llum de les dades de la taula 2 i de la figura 10 podem veure, en primer lloc, com els camps de conreu, que partien d'una situació discreta, acaben desapareixent. En segon lloc, els prats i les pastures segueixen una tendència paral·lela, però com que la superfície inicial és més gran, encara mantenen una presència important. En tercer lloc podem constatar que tot l'espai que ha deixat de ser conreat o pasturat ha estat recuperat pel bosc, que actualment ocupa més de la meitat del parc. Per fi, el lleuger augment de la superfície improductiva és degut a les superfícies de sòl erosionat per l'abandonament de les pràctiques conservacionistes.

TAULA 2. Variació de la superfície dels diferents usos al llarg del segle XX al Parc Natural del Cadí-Moixeró

Ús	1900		1957		1999		Var. 1900-1999	
	ha	%	ha	%	ha	%		%
Agrícola	4.885,9	11,3	1.314,6	3,0	47,7	0,0	-11,2	
Ramader	22.986,4	53,5	19.613,0	45,5	15.560,6	36,1	-17,2	
Forestal	11.879,5	27,5	19.102,1	44,3	23.812,3	55,2	27,7	
Improductiu	3.394,6	7,9	3.116,7	7,2	3.725,7	8,6	0,7	
Total	43.146,4	100,0	43.146,4	100,0	43.146,4	100,0	-	

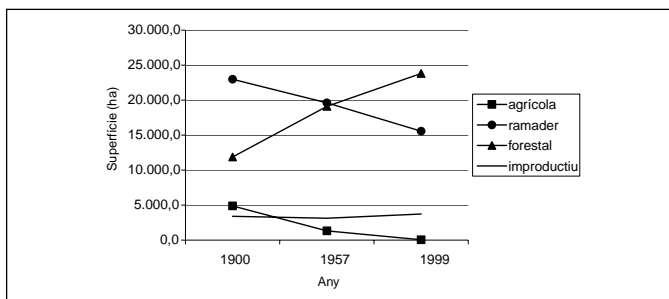


FIGURA 10. Variació de la superfície dels diferents usos al llarg del segle XX al Parc Natural del Cadí-Moixeró.

Aquests canvis en el paisatge, com es tradueixen en la fertilitat dels sòls, del seu mantell edàfic? Aquesta pregunta és la que s'intentarà respondre en els propers apartats d'aquest article.

LA GESTIÓ DE L'ESPai TRADICIONAL I ELS CANVIS
EN ELS USOS DEL SÒL EN EL SEGLE XX

L'aspecte cultural és cabdal en la comprensió de la fertilitat edàfica de l'espai agrari. Els tipus de conreus i la manera de gestionar-los, la quantitat d'aportaments orgànics i la cura en la conservació dels sòls de les pastures, o la maduresa dels boscos i el contingut de la fracció orgànica en horitzons forestals, són variables que s'han tingut en compte en l'elecció de les parcel·les de mostreig de les àrees homogènies.

L'estudi de l'abandonament dels sòls fins ara s'ha dut a terme en el Pirineu calcari, prenent com a àmbit representatiu el Parc Natural del Cadí-Moixeró i municipis adjacents. Un cop establerts els grans grups de sòls que es pretén estudiar, sòls recents de vessants damunt materials carbonatats de l'ordre dels entisòls i inceptisòls (*orthents* i *ochrepts* amb alguns *fluvents*), i identificada la seva distribució, es porten a terme un seguit d'entrevistes amb les persones de més edat dels pobles per tal de caracteritzar més bé l'espai actual i el del passat més recent. Aquesta metodologia s'ha mostrat més eficaç que l'anàlisi de cartografia cadastral històrica per a definir els trets més importants del tipus d'usos del sòl i la seva gestió en el període anterior a l'abandonament, pel fet que aquest mètode permet assolir més precisió a escala de parcel·la.

En general es pot assegurar que l'explotació del medi ha estat més extensiva que intensiva, amb les activitats agràries centrades en l'abastament de la població autòctona, i les

explotacions ramaderes i forestals dirigides als intercanvis amb la resta del territori. La transhumància, el transport de fustes en raïcs, el carboneig, i d'altres activitats són els exemples clars de fluxos de matèria i energia entre la muntanya i la plana, entre la font de matèries primeres i les àrees de consum i transformació.

Al Cadí-Moixeró, com a d'altres llocs del Pirineu, es poden definir tres grans conjunts d'espais productius en l'economia tradicional: per un banda, els pobles, masos i el mosaic de camps, camins i boscos al seu entorn; per una altra, les masses forestals. I, per fi, les pastures supraforestals.

Tots tres defineixen el clàssic espai agro-silvo-ramader, denominador comú de la majoria dels municipis de muntanya abans de la penetració del model capitalista, que es pot situar cap a 1950-1960 a les comarques de muntanya (Tulla, 1993). El pes d'aquestes activitats a cada comarca, però sobretot a cada municipi o entitat de població, varia d'acord amb una certa especialització en relació amb la disponibilitat de recursos; així, els municipis amb una àmplia superfície comunal de pastures supraforestals han estat tradicionalment ramaders, i agrícoles els que posseeixen els millors sòls en els fons de vall.

Els usos del sòl descrits, juntament amb les variables del medi físic: substrat carbonatat, radiació solar, tipus de pastures i tipus forestals, són els criteris per a definir les unitats de paisatge de les quals s'han extret les mostres de sòl. En tots els usos s'ha estudiat amb especial detall la intensitat d'explotació del medi segons l'existència de fenòmens erosius o any d'abandonament en les pastures, la càrrega ramadera i l'erosió de les pastures o la freqüència i intensitat de l'explotació forestal. El resultat és un mapa amb la llegenda següent:

Ús agrícola

conreus actius		solana	(1)
		obaga	(2)
conreus abandonats	entre 1999 i 1957		amb erosió (3)
		solana	sense erosió (4)
		obaga	amb erosió (5)
	abans de 1957		sense erosió (6)
		solana	amb erosió (7)
		obaga	sense erosió (8)
		amb erosió (9)	
		sense erosió (10)	

Ús ramader

pastures montano-subalpines	solana	elevada càrrega ramadera ($> 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(11)
		baixa càrrega ramadera ($< 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(12)
	obaga	elevada càrrega ramadera ($> 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(13)
		baixa càrrega ramadera ($< 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(14)
pastures supraforestals	solana	elevada càrrega ramadera ($> 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(15)
		baixa càrrega ramadera ($< 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(16)
	obaga	elevada càrrega ramadera ($> 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(17)
		baixa càrrega ramadera ($< 1,5 \text{ UR}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(18)

Ús forestal

bosc poc intervingut (exemplars > 150 anys)	<i>Quercus pubescens</i> (solana)	(19)
	<i>Pinus sylvestris</i> (obaga a 1.700 m)	(20)
	<i>Pinus uncinata</i> (solana a 2.000 m)	(21)
bosc molt intervingut (exemplars < 50 anys)	<i>Quercus pubescens</i> (solana)	(22)
	<i>Pinus sylvestris</i> (obaga a 1.700 m)	(23)
	<i>Pinus uncinata</i> (solana a 2.000 m)	(24)

Per a entendre millor el paisatge actual (sintetitzat en aquesta llegenda), cal analitzar quina ha estat l'evolució recent d'aquest espai; novament la taula 2 mostra l'evolució dels principals usos del sòl en tres períodes clau: el paisatge de

1900 (hereu de la màxima extensió agrícola cap a 1860), l'any de la primera fotointerpretació i acceleració del declivi demogràfic (1957), i l'actualitat, amb l'abandonament total de l'agricultura i altres usos tradicionals (1999).

En una anàlisi detallada de les dades (que no incloem per a evitar allargar-nos excessivament) cal destacar la gran importància dels boscos de coníferes (*Pinus sylvestris* i *Pinus uncinata*) a obaga, mentre que les solanes estan dominades per un mosaic de pastures montanes-subalpines de baixa càrrega ramadera, rouredes i pinedes molt intervingudes. L'espai ramader supraforestal es manté per damunt del límit altitudinal superior del bosc (*timberline*), però les pastures montano-subalpines veïnes es redueixen significativament a causa del descens de la transhumància, sobretot a obaga. L'agricultura ha desaparegut a l'interior del parc i tan sols queden petites parcel·les; en canvi, són encara importants les pastures en camps abandonats al fons de les valls, als vessants sud o prop dels pobles.

En els darrers cent anys el Parc Natural del Cadí-Moiixeró ha passat de ser un espai molt humanitzat a ser una reserva quasi exclusivament de caire natural. Els canvis més importants s'han produït en l'increment de la massa forestal per sota els 2.200-2.300 m, en detriment de les pastures i dels camps de conreu. En aquest període s'han invertit les ràtios entre usos, ha desaparegut l'agricultura i s'ha marcat una tendència clarament homogeneïtzadora del paisatge, amb totes les conseqüències de caire edàfic i ambiental que això implica.

LA FERTILITAT DELS SÒLS I LA GESTIÓ DELS USOS

El concepte de *fertilitat edàfica* plantejat en aquest estudi pren l'accepció més àmplia del terme (Porta *et al.*, 1994; Saña *et al.*, 1996) i atribueix molta importància a les propie-

tats físiques del sòl com a variables que determinen la seva conservació a partir de l'abandonament de l'agricultura i la disminució de l'alteració dels horitzons superficials per activitat ramadera o silvícola. El fet que ens trobem en una àrea de muntanya on la variabilitat espacial de la quantitat de sòl és molt gran condiona la profunditat, però també tots els aspectes relatius a l'estructura i textura. Aquests paràmetres són fonamentals per a entendre les característiques i la dinàmica de la vegetació que pot acceptar cadascun dels substrats i, tant o més important en el clima submediterrani de muntanya, la quantitat d'aigua que pot emmagatzemar.

La textura

Els sòls estudiats són franc-argilosos, francs i franc-argilo-sorrenecs segons els criteris de l'USDA (MAPA, 1986). La textura dels sòls poc evolucionats o degradats, com els entisòls de l'àrea d'estudi, es troba molt relacionada amb el tipus de substrat litològic. Per aquest motiu l'espai agrari concentra la major part de mostres en textures franc-argiloses, pel fet que es troba en substrats margocalcaris, mentre que les mostres més sorrenques corresponen a camps damunt de paquets col·luvials o al·luvials. La granulometria dels sòls en prats i boscos tendeix a contenir un percentatge més elevat de sorres també per causes en part litològiques. Cinc de les mostres es troben damunt de substrats calcopelítics amb regolites que aporten un bona quantitat de fracció superior a les quaranta mil·limicres, i sis damunt sòls descarbonatats damunt calcàries amb un procés de rentatge molt intens.

En àrees de muntanya amb sòls pobres és molt important conèixer la relació existent entre la fracció fina, la que és útil per a les plantes, i la grollera. Aquesta relació és fonamental per a conèixer la quantitat total de terra fina per

hectàrea (TF/ha), un paràmetre bàsic per a les explotacions agrícoles però que també pot ser útil en altres usos.

Els resultats posen de manifest uns sòls molt pedregosos amb una mitjana del 42,4 % d'elements superiors als 2 mm entre totes les mostres. Tot i amb això, la desviació estàndard també és molt elevada, sobretot entre l'espai ramader i el forestal. Sorpren l'elevada proporció de rudites en l'espai agrari, tant en l'abandonat com en l'actiu, entre el 25 % i el 60 % de la massa de sòl, que perfectament podria invalidar aquestes terres per als cultius.²

El sòl disponible per a les plantes

Les dades de la fondària dels sòls en els camps mostren una marcada irregularitat, amb un valor mitjà de 102,9 cm i una desviació estàndard de 42,4 cm. Aquest valor se situa entre la mitjana de les potències màximes (156,1 cm) i les mínimes (49,7 cm), amb coeficients de variació del 50,5 % i el 56,6 % respectivament. En canvi, els camps que encara resten actius contenen valors mitjans de 170 cm i potències mínimes superiors a la majoria dels camps abandonats, a causa de les exigències de la mecanització. Les potències dels sòls naturals són més baixes que les de l'espai agrícola, sobretot entre els prats i les pastures, amb una mitjana de 32,1 cm i un coeficient de variació del 19,4 % per a l'àmbit supraforestal, i de 43,9 cm de fondària mitjana en les pastures montano-subalpines però extremament variable (82 %). Els sòls forestals no són gaire profunds, i entre les mostres el valor mitjà és de

2. Les entrevistes als agricultors posen de manifest que a l'hora de llaurar la terra amb tir, han estat més mal considerats determinats sòls argilosos amb tendència a la compactació que no pas aquells amb gran quantitat d'elements grollers, que han estat sistemàticament extrets del sòl.

36,7 cm, però amb una desviació estàndard baixa (4,1 cm), que dóna lloc a un coeficient de variació de l'11,1%.

El càlcul de la TF/ha³ per a cadascuna de les àrees homogènies ens permet agrupar les àrees a partir de l'afinitat d'ús. D'aquesta manera es constata un augment apreciable de sòl útil en les mostres agrícoles, amb 1.230 Tm de TF/ha i una desviació estàndard de 688,5. Entre aquestes també cal destacar la reducció dels valors entre els camps abandonats amb erosió (993,2 Tm de TF/ha), lleugerament per sota del nivell de suficiència,⁴ en canvi l'augment és progressiu entre els estables, els quals, amb 1.142,9 Tm de TF/ha, també tenen el coeficient de variació més baix (37%), fins a assolir els nivells més alts en els dos camps actius: 2.257,3 Tm de TF/ha.

Els coeficients de variació més elevats corresponen a les mostres de l'espai ramader i al forestal, a diferència del que succeïa amb les potències. La fondària dels sòls en els camps amb terrassa varia per les modificacions del perfil edàfic dels terrenys en pendent; en canvi, a la resta d'àmbits els perfils, tot i ser molt variables, experimenten canvis importants pel que fa a la macroforma i són més regulars en parcel·les reduïdes. Ara bé, la quantitat d'elements grollers sí que és un bon indicador per a diferenciar els sòls agrícoles de la resta en àrees de muntanya: mentre el més degradat dels camps difícilment baixa de les 500 Tm de TF/ha, molts prats no assoleixen les 200 Tm de TF/ha. Cal diferenciar entre les pastures montanes més riques (540,2 Tm de TF/ha) però

$$3. \quad \text{Tm de TF/ha} = \frac{\text{kg} \cdot \text{TF}}{10^6} \times 16 \times 10^4 \times \frac{\text{cm potència mitjana}}{25} c$$

4. La massa de sòl que es considera idònia per a espais agraris productius normalment se situa entre les 2.300 i les 5.600 Tm/ha (Boiffin *et al.*, 1986), tot i que es consideren suficients aquells sòls per damunt les 1.000 Tm/ha (Cobertera, 1993).

molt irregulars (desviació estàndard de 558,2) de les supraforestals més homogènies però amb un valor mitjà de 185,2 Tm de TF/ha. En el cas dels boscos, la divisió es produeix entre els que han estat intensament explotats: 585,1 Tm de TF/ha (coeficient de variació —CV— de 8,2%) i els reductes forestals amb exemplars més antics: 322,6 Tm de TF/ha (CV de 102,6%).

L'estat dels agregats del sòl

Els sòls de les àrees homogènies tenen una estructura ben construïda, si s'exceptuen les zones erosionades dels camps abandonats, així com els dos actius. El tipus d'estructura és majoritàriament granular fina, i únicament en els camps amb terrassa es poden observar formes poligonals subangulars fines o mitjanes (McRae, 1988).

La constatació qualitativa coincideix plenament amb la quantitat d'energia necessària per a trencar els agregats (vegeu la figura 11). D'aquesta manera calen més de 153 impactes (1.800 kerg) de mitjana per a provocar el col·lapse dels agregats en camps abandonats estables mitjançant el mètode del Count Number Drop Test (CNDT), mentre que en els inestables en calen 94. Entre els darrers s'ha de diferenciar entre les mostres dels camps amb processos erosius, que corresponen a la mitjana de la parcel·la, i les que han estat recollides en zones erosionades; en aquest cas els valors davallen fins als 40 impactes tan sols (400 kerg). En els camps actius els agregats es dispersen amb una quantitat d'energia cinètica menor (397 kerg) que la mitjana dels abandonats estables (1.724 kerg), però similar a la dels sectors erosionats (450 kerg).

Els camps abandonats sense erosió i l'actiu a obaga, ric en matèria orgànica, superen valors de 1.260 kerg, tot

mostrant una relació molt estreta amb els sòls amb continguts de matèria orgànica superiors al 5,3%. La majoria de pastures es troben a partir d'aquests valors, sobretot les montano-subalpines, i generalment estan associats a una elevada càrrega ramadera que garanteixi aportaments suficients de matèria orgànica sense que apareguin formes d'erosió. Molt diferent del que succeeix en estatges superiors, on la vulnerabilitat dels sòls queda demostrada en les diferències entre aquells sotmesos a un intens trepig amb una mitjana de 549 kerg, o en els que rarament es pasturen (2.023 kerg).

En darrer terme, els sòls forestals són poc vulnerables a la destrucció de l'estructura per impactes de gotes, fins i tot en les forests amb explotacions més intenses i recents. Els boscos madurs contenen els agregats més ben cohesionats i resistents (2.254 kerg), situats en un entorn que dificulta l'agressivitat de precipitacions d'intensitat elevada a causa del dens recobriment dels estrats vegetals existents, però sobretot per l'efecte de l'abundant mantell de virosta i matèria orgànica. Fins i tot en el cas més allunyat d'aquestes condicions, la roureda seca, els agregats són tan resistents com a les pineades de pi roig o les de pi negre.

L'estabilitat estructural estableix un elevat grau de correlació amb el percentatge de matèria orgànica dels sòls, sobretot a l'espai agrari, on trobem un elevat nombre de camps immersits en una dinàmica natural de revegetació. Si comparem l'estabilitat estructural i l'edat d'abandonament dels antics camps de conreu, s'observa com després de vint anys sense llaurar s'assoleixen estructures ben construïdes en la majoria d'exposicions, a excepció dels camps erosionats, que veuen com es mantenen o deterioren els seus agregats.

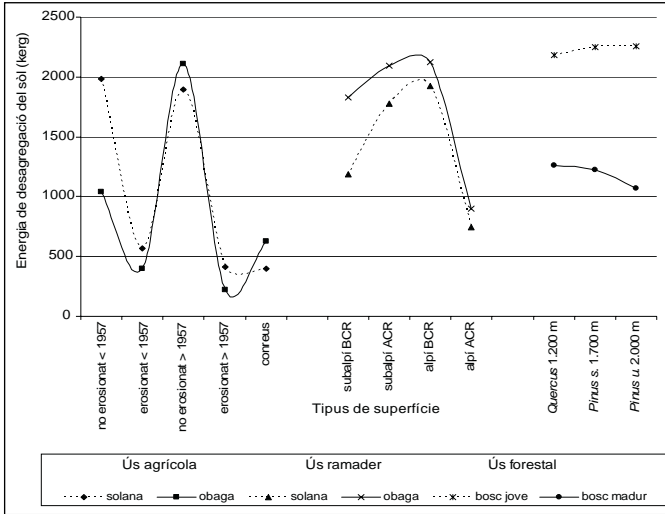


FIGURA 11. Relació entre l'energia necessària per a trencar els agregats del sòl i els diferents tipus i intensitats d'ús al Parc Natural del Cadí-Moixeró (BCR*: baixa càrrega ramadera; ACR*: alta càrrega ramadera).

La densitat aparent

La densitat aparent és un bon indicador del grau de compactació del sòl, que mitjançant el càlcul de la porositat ens aporta informació sobre la capacitat de retenció d'aigua del sòl i de l'aireig.

Els resultats posen de manifest que el valor mitjà de la densitat aparent a l'espai agrari és d'1 gr/cm³, sense diferències significatives entre l'activitat o l'edat d'abandonament dels cultius. En canvi, sí que cal destacar els valors entorn d'1,4 gr/cm³ dels camps inestables amb presència de processos erosius. A la resta d'usos també es perceben diferències entre la intensitat d'aprofitament; així, les zones amb una eleva-

da càrrega ramadera assoleixen els 1,52 gr/cm³, mentre que la resta es mantenen en 1 gr/cm³. A l'estatge supraforestal les diferències encara són més evidents entre els prats poc pasturats (de 0,3 a 1,2 gr/cm³) i els que estan sotmesos a un intens trepig o processos erosius 1,72 gr/cm³. A l'últim, les diferències en el règim d'explotació forestal es posen de manifest en els boscos de coníferes, amb densitats aparents de 0,55 gr/cm³ en els sòls madurs i molt orgànics i 1,56 gr/cm³ en els intensament explotats. En les rouredes seques la baixa quantitat de matèria orgànica fa que la densitat aparent superficial sigui similar entre ambdós tipus d'explotació.

Una densitat aparent baixa facilitarà la incorporació d'aigua en el sòl i per tant millorarà les condicions per a la viabilitat de la vegetació.

Algunes propietats químiques i la matèria orgànica

L'índex de fertilitat utilitzat (Cobertera, 1983) té en compte tres dels paràmetres més usuals en les analítiques de sòls: K assimilable, P assimilable i percentatge de matèria orgànica. Tanmateix, la resta de determinacions efectuades també aporten una informació interessant als resultats finals.

La matèria orgànica, el nitrogen total i la relació C/N

Els valors de matèria orgànica per als diversos usos a solana i obaga indiquen en general un augment de la fracció orgànica amb la disminució de la intensitat de l'ús del sòl (vegeu la figura 12).

Les terres de conreu són les més pobres en matèria orgànica, amb valors mitjans del 4%; a partir d'aquí els camps abandonats amb posterioritat a 1957 presenten va-

lors mitjans de 6,1% per als estables, i de 4% per als inestables. Si incrementem trenta anys l'edat d'abandonament, però mantenim constant la vegetació de tipus herbaci, la matèria orgànica no canvia substancialment: 5,6% i 4%. Cal matisar els valors generals de cada àrea homogènia en les parcel·les agrícoles en funció de les variacions internes degudes a la posició a l'interior de la terrassa i a les diferències de cobertura vegetal. Així, la matèria orgànica s'incrementa fins a un 30% en les zones baixes dels camps respecte a les elevades i de més pendent, i pot assolir fins a un 1% de més en els sectors recentment colonitzats per pinedes (trenta anys). Per contra, les concentracions de matèria orgànica en les submostres d'espais erosionats oscil·len entre l'1,9% i el 3,7%.

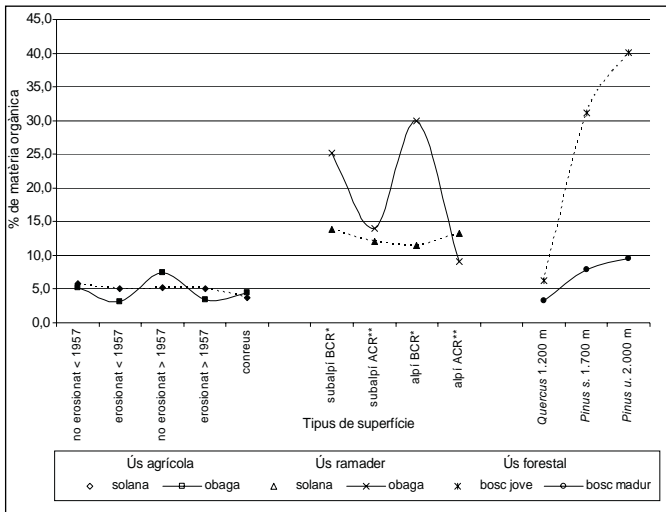


FIGURA 12. Relació entre la matèria orgànica del sòl i els diferents tipus i intensitats d'ús al Parc Natural del Cadí-Moixeró (BCR*: baixa càrrega ramadera; ACR**: alta càrrega ramadera).

La matèria orgànica a les pastures té comportaments molt diferents en funció de l'ús i de l'exposició. Les concentracions més elevades es troben a les pastures de baixa càrrega ramadera a l'obaga, amb el 27,5%, que contrasten amb els valors d'entre el 10-15% de la resta de pastures. L'existència de processos erosius deguts a l'excés de pastura és la causa del descens de valors fins a l'1,7%.

Els sòls dels boscos de coníferes poc intervinguts a solana i obaga són els més rics en matèria orgànica de tots els usos, amb valors per damunt del 30%. En canvi, quan les condicions d'humitat edàfica són deficientes (rouredes a solana) o hi ha hagut una intensa explotació, les concentracions de matèria orgànica no superen en cap cas el 10%, i s'assemblen força a les de l'espai pasturat.

Els resultats de les analítiques referits al N es correlacionen perfectament amb les concentracions de matèria orgànica, i s'han utilitzat per a estimar la taxa de mineralització a partir de la relació C/N.⁵ El nitrogen total que s'extreu del sòl no es pot considerar com un paràmetre de fertilitat (Saña *et al.*, 1996), ja que les plantes no absorbeixen el nitrogen orgànic, que representa el 90% del total (Cobertera, 1983). Per tant, en l'anàlisi dels resultats el nitrogen total tan sols s'ha utilitzat per a l'elaboració de les relacions C/N.

Els valors més elevats de la relació C/N es donen en l'àmbit forestal, sobretot a obaga. La relació C/N augmenta clarament amb el temps d'abandonament de l'espai agrari i, tot i que de manera no gaire clara, els aportaments dels ramats incrementen la relació, exceptuant aquells llocs amb una elevada concentració de fems.

5. Calculada aritmèticament aplicant el factor de van Bemmelen per a les mostres amb una matèria orgànica inferior al 10%; per a la resta s'ha aplicat un factor 2.

Les concentracions d'aquest macroelement estan molt relacionades amb la quantitat de matèria orgànica, i això explica en part les diferències entre els usos (vegeu la figura 13). Els valors mitjans de P en els camps actius són de 15,1 ppm, i es van reduint progressivament a mesura que passen els anys d'abandonament: 7,8 ppm per a la fase recent i 6,6 ppm per a la fase antiga. Els continguts de P en les *catenes* de les parcel·les agrícoles també repeteixen el patró que es donava amb la matèria orgànica, amb increments a les zones baixes del camp. D'altra banda, l'increment de biomassa no es correspon amb un increment significatiu de P, almenys en els primers estadis de colonització vegetal, tant per a espècies arbustives com la *Genista scorpius* o arbòries, com per al *Pinus sylvestris*. En canvi, sí que són importants les pèrdues per erosió; així, a les submostres extretes de les àrees degradades, els valors de P oscil·len entre 3,5 i 4 ppm.

Tanmateix, cal destacar l'abundància de P en aquelles àrees on hi ha hagut un aportament especial de fems; en aquest sentit, les pastures montano-subalpines d'elevada càrrega ramadera són les que tenen els continguts més elevats, amb 30 ppm, que contrasten amb les 11,5 ppm de zones amb baixa densitat. En canvi, a l'estatge supraforestal s'inverteixen els termes, i són les zones menys freqüentades les que assoleixen valors més alts (22,7 ppm), mentre que els espais amb més pressió de ramats transhumants tenen valors mitjans entorn de les 12,5 ppm. Però un lent i sostingut aportament de matèria orgànica que prové de la biomassa forestal també dóna lloc a concentracions elevades, com ho demostren les 24 ppm dels boscos de coníferes poc explotats, en contrast amb les 9,4 ppm dels boscos menys madurs i tallats cada trenta o quaranta anys. A les solanes amb dèficits hídrics acusats (domini del *Quercetum pubescentis*), els valors són molt més baixos, amb 9 i 4,8 ppm respectivament per a cada ús.

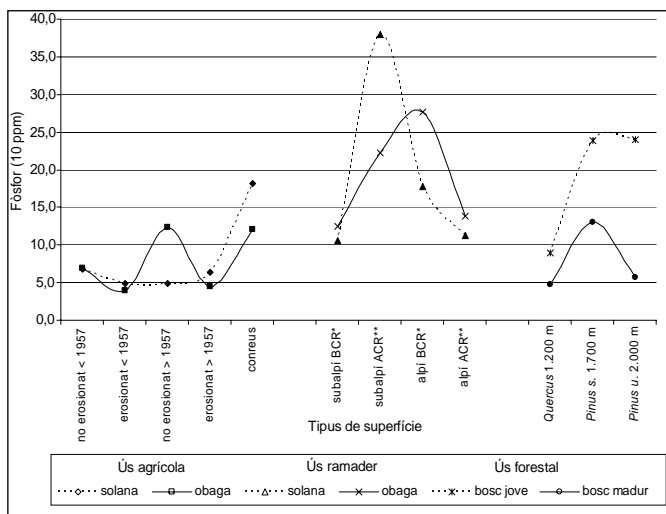


FIGURA 13. Relació entre el contingut de fòstor del sòl i els diferents tipus i intensitats d'ús al Parc Natural del Cadí-Moixeró (BCR*: baixa càrrega ramadera; ACR**: alta càrrega ramadera).

Potassi assimilable

De la mateixa manera que succeeix amb el P, les concentracions de K disminueixen amb els anys d'abandonament des de les 500 ppm en els cultius, fins a les 205 ppm en els camps abandonats més antigament (vegeu la figura 14). La font de K en aquests sòls prové fonamentalment dels fems, i les dues àrees més riques en aquest macroelement són els cultius i la pastura on es concentren els ramats (621 ppm). Les zones més deficitàries es troben a la part alta de la *catena* en els camps (66 % menys de K) i en els espais erosionats dels camps inestables.

Si el K disminueix quan s'atura l'activitat agrícola, no succeeix el mateix amb la resta d'usos, on les concentracions tendeixen a disminuir com més gran és la intensitat d'explo-

tació. A les pastures succeeix sobretot a obaga, però en canvi quan hi ha un excés d'aportaments de detritus s'inverteixen els termes, tal com es pot constatar entre les pastures de BCR montano-subalpines a solana (340 ppm) i les d'ECR (621 ppm). Tant en els boscos madurs de caducifolis com en els de coníferes les concentracions de K són elevades (283 i 287 ppm), i són molt més baixes en la categoria oposada (111 i 115 ppm).

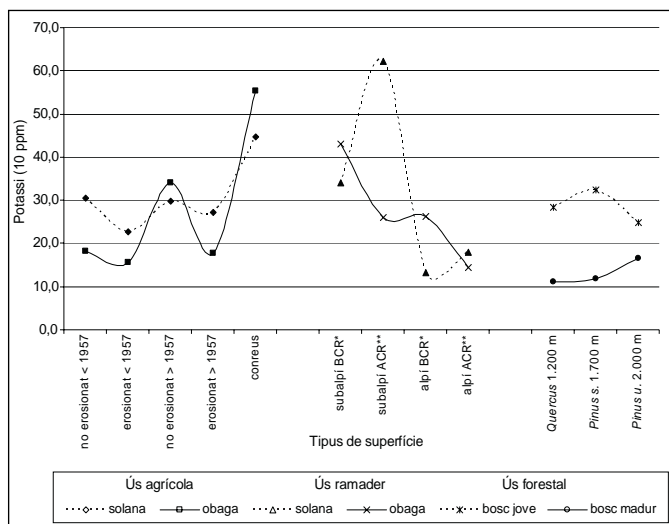


FIGURA 14. Relació entre el contingut de potassi del sòl i els diferents tipus i intensitats d'ús al Parc Natural del Cadí-Moixeró (BCR*: baixa càrrega ramadera; ACR**: alta càrrega ramadera).

Mg i Ca assimilable i pH del sòl

La resta de cations que completen la CIC no intervien en l'índex de fertilitat i avaluació del sòl efectuat en aquest estudi, però indiquen tendències similars a altres macroelements

per als diversos usos. L'anàlisi dels carbonats totals i el pH ha permès definir les característiques calcícoles dominants de l'àrea d'estudi i comparar-les amb alguns sòls de terrenys silícis.

El Mg experimenta variacions similars al K, però en aquest cas l'origen d'aquest macroelement en el sòl està molt relacionat amb la quantitat de $MgCO_3$ en litologies dolomítiques. Els camps actius són els que tenen les concentracions més elevades a causa de l'aportament de fems, i només són àmpliament superats pels camps situats damunt de les dolomies juràsiques o en terrenys al·luvials propers (AH: 200, 300, 620, 700 i 800). Si descartem els camps amb aquest excés de Mg, els camps actius superen en un 33 % les concentracions dels abandonats, i entre aquests, les zones erosionades són un 26 % i 42 % més pobres per als recentment i antigament abandonats respectivament. El Mg present en sòls molt rics en matèria orgànica forestal o amb un aportament abundant de fems supera àmpliament els altres usos. Cal destacar que les concentracions més baixes, tot i que suficients (> 40 ppm), es donen a les pastures supraforestals, justament en un element tan important per a la nutrició animal.

De la lectura dels carbonats totals es dedueix que les unitats de paisatge damunt de litologies calcàries poden tenir sòls amb una naturalesa química ben diferent. Els sòls de l'espai agrícola carbonatat (margues i margocalcàries) presenten continguts de $CaCO_3$ que oscil·len entre el 20 % i el 40 %. En canvi, els sòls de l'espai ramader i forestal es troben en un avançat procés de descarbonatció, a causa de l'increment de la pluvimetria (estan a més altitud) i la carstificació del substrat calcari, donant lloc a pH neutres i la pràctica absència de carbonats totals.

Valoració integrada dels resultats: índex de fertilitat de Cobertera i índex d'avaluació del sòl

L'índex de Cobertera fa referència a paràmetres agronòmics, i en aquest sentit dóna molta importància a la quantitat de sòl disponible per a les plantes. Tot i que aquestes parcel·les no són mecanitzables, actualment tenen un bon gruix de sòl i una fertilitat elevada per a l'entorn dels sòls mediterranis, per al qual està pensat aquest índex. Només alguns camps molt erosionats en fan baixar la valoració. D'altra banda, les pastures d'elevada càrrega ramadera tenen una elevada fertilitat química per l'abundant aportament de fems, i una quantitat important de terra fina per la situació topogràfica favorable (pendents suaus, zones còncaves o planes). Per contra, els sòls prims o l'elevada pedregositat penalitzen la resta d'usos.

L'índex d'avaluació del sòl integra tres paràmetres que són importants tant per a l'agricultura com per a la vegetació de tipus natural o espontani. A més de la fertilitat química, el grau d'estructuració d'un sòl i l'aigua edàfica són dos paràmetres de marcada importància per a entendre millor l'evolució del paisatge, o la productivitat de les pastures, boscos o camps. I des d'aquesta perspectiva, els resultats indiquen un estat òptim per als boscos de coníferes poc intervinguts i les pastures d'elevada càrrega ramadera montano-subalpines, que en aquest cas es concentren en els llocs menys degradats d'aquest estatge. Els camps abandonats amb estabilitat edàfica se situarien en un immediat segon nivell juntament amb les pastures supraforestals d'elevada càrrega ramadera. A la franja mitjana de valors trobarem l'espai agrari abandonat en terrenys silicis i els camps de conreu. En darrer terme, els camps inestables, les pastures montano-subalpines de baixa càrrega ramadera i les rouredes en solanes de forts pendents són els que obtenen la valoració més baixa.

En definitiva, aquests resultats ens mostren com les diferències en la gestió del territori, amb perspectiva històrica, també es manifesten en l'estat actual dels sòls. Un increment de la pressió en activitats que necessiten el sòl com a suport (ramaderia i silvicultura) pot malmetre el recurs edàfic i, fins i tot, el fet de superar el llinar d'equilibri del sistema pot provocar la pèrdua irreversible del sòl. A l'agricultura també ha passat un efecte similar: quan hom té cura de les parcel·les, aquestes perduren de generació en generació, però quan la necessitat d'ampliar l'espai agrícola empeny la població a fer terrasses en els llocs menys adequats, l'erosió pot malmetre els vessants amb sòls més prims i més desprotegits per la vegetació. Tanmateix, una vegada s'abandona el territori, les dinàmiques del paisatge vegetal en la majoria dels espais de la muntanya pirinenca tendeixen a reforestar de manera espontània els sòls. La fertilitat romanent dels diversos usos abandonats s'incrementa progressivament amb els aportaments de la matèria orgànica dels herbassars, matollars i boscos de nova implantació, però aquesta també pot estabilitzar-se o degradar-se si les condicions bioclimàtiques no són les adients (manca d'humitat edàfica, sòls prims, vegetació poc densa, etc.), o els usos inadequats (pastures damunt les feixes, explotacions forestals tipus «tallades arreu», etc.).

A TALL DE CONCLUSIÓ: CAP ON S'ENCAMINEN
ELS TERRITORIS DE MUNTANYA?

*S'han invertit els processos de despoblament
i d'abandonament del territori?*

La tendència dels darrers anys apunta —com s'ha dit abans— cap a una remuntada de la població, tant per al conjunt de les comarques estudiades com per a cadascuna d'elles. Igual-

ment, molts dels municipis que han perdut població de manera ininterrompuda durant els darrers cent cinquanta anys, ara presenten una certa recuperació. I fins hi ha nuclis de població que havien estat abandonats —o quasi— que ara consten en el cens com a habitats. Cal tenir en compte dos aspectes per a poder interpretar aquesta tendència en el seu context.

Per una banda, no hem d'oblidar que el cens ens dóna una xifra *oficial*, ens informa de quantes persones hi ha empadronades, indiferentment que hi visquin de manera permanent, estacional o, simplement, no hi visquin mai (és el cas de persones que hi han nascut i que hi mantenen l'empadronament per qüestions sentimentals). El cens de 2001 reflecteix un efecte que podríem anomenar *pervers* de l'*Informe Roca*: la proposta d'annexionar o reagrupar tots els municipis de menys d'una certa quantitat de població va empènyer molts habitants de segones residències a fer-les constar com a primeres —és a dir, a empadronar-s'hi—, amb l'objectiu de superar aquella xifra fatídica, per sota de la qual el municipi corria el risc de ser agregat a un o més municipis veïns. Per aquestes i altres raons, s'ha pogut constatar que la població real de molts dels nuclis de població petits és molt inferior a la que consta en el cens.

Per una altra banda, s'han de tenir en compte les noves orientacions econòmiques de les àrees de muntanya. Si fa mig segle pràcticament totes les activitats tenien una relació directa amb el territori, actualment moltes de les activitats, particularment aquelles que reporten més beneficis —i a canvi d'un esforç inferior— es troben absolutament deslligades de la gestió directa del territori: sector de serveis en general, adreçats sobretot al turisme, i també la percepció de tota mena de subsidis, indemnitzacions, subvencions, compensacions, etc. Aquests dos sectors econòmics, a més, són els que en el fons actuen com a reclam per a mantenir i fins augmentar la població.

Però la cosa encara és més pregona: fins i tot en aquells indrets on es manté un bon nivell d'activitat relacionada amb el sector primari —particularment la ramaderia— succeeix sovint que aquesta activitat tampoc no repercuteix en una gestió directa del territori. Cada cop hi ha més explotacions que basen exclusivament l'alimentació del bestiar en pinsos adquirits a voltes en altres continents, i els prats ni són pasturats pels animals ni són dallats per a donar-los l'herba dins de l'estable. Possiblement des d'una òptica d'economia immediata —les despeses—, aquesta opció, l'actual, serà més barata, però els problemes que es deriven d'aquest tipus de funcionament no són gaire quantificables (per exemple, com que els prats no es fan servir de pastura, tampoc no es poden adobar, i l'acumulació de fems —que abans s'utilitzaven per a millorar la fertilitat dels prats— acaba per convertir-se en un problema greu... i potser car de resoldre, al capdavant). De manera que, fins i tot en indrets on no es produeix des poblament ni disminució d'activitat econòmica lligada al sector primari, es continua produint un abandonament del territori.

En definitiva, la resposta a la pregunta aparentment retòrica que encapçala aquests paràgrafs és de totes totes negativa: en general, el territori de muntanya ni s'ha deixat de despoblar, ni s'ha deixat d'abandonar.

Quin paisatge pirinenc ens prepara el futur?

A partir de l'anàlisi dels canvis produïts en els territoris de muntanya els darrers cent anys i tenint en compte diversos factors catalitzadors —alentidors o inhibidors de l'aforestació natural (clima, fertilitat del sòl, massa vegetal, erosió, etc.)— s'ha pogut constatar un clar procés d'homogeneïtzació forestal de la major part del territori pirinenc. Aquesta

uniformització de l'espai té un origen antic, s'ha produït de l'abandonament del sistema econòmic tradicional ençà, però ha experimentat un impuls addicional des de la dècada dels seixanta. Si es mantenen les condicions ambientals i socioeconòmiques actuals, és previsible que d'aquí a trenta anys el tancament del bosc haurà augmentat substancialment i s'haurà generalitzat. Aquest escenari no preveu canvis inesperats en la política agrària que potenciïn la cabanya ramadera (que, per altra banda ben bé que es poden produir) o situacions excepcionals com grans incendis forestals (que possiblement són un esdeveniment anunciat). La conclusió més important que en podem extreure és la pèrdua de diversitat paisatgística que es produirà en les àrees de muntanya si es manté l'actual política de gestió (de *no gestió*, tal volta?) del territori. També es fa palesa la necessitat de delimitar quins espais són més idonis per a la pastura, on es poden desenvolupar els millors boscos i on es troben els sòls més vulnerables.

El paisatge actual del Pirineu és el resultat d'una complexa interacció entre factors abiòtics i biòtics, entre els quals es troba l'ésser humà. La incidència humana en la configuració d'algunes parts d'aquest paisatge ha estat mínima, però en canvi ha estat fonamental en d'altres. Obviar aquest efecte i considerar que el procés actual d'abandonament del territori és una via per a la *naturalització* d'aquest espai pot ser perfectament aplicable a determinades àrees; però en d'altres pot fins esdevenir contraproductiu a la pròpia política de conservació. En un espai que històricament ha estat tutelat per la societat i del qual s'ha extret un profit econòmic, també cal dirigir (o si escau invertir) el procés d'abandonament per a detectar i corregir situacions problemàtiques, que en definitiva aniran en detriment dels objectius que la societat fixi per a la utilització del territori.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BERTRAND, G. (2000). «Le paysage et la Géographie: un nouveau rendez-vous». *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, núm. 50, p. 57-68.
- BONET, A. (1997). *La dinàmica de la vegetació després de l'abandonament dels conreus a la Conca de l'Alt Llobregat*. Barcelona: Universitat de Barcelona. [Tesi doctoral]
- COBERTERA, E. (1983). *Edafología aplicada*. Madrid: Cátedra.
- LASANTA, T. (1989). *Evolución reciente de la agricultura de montaña: El Pirineo aragonés*. Logronyo: Geoforma. 220 p.
- LASANTA, T.; VICENTE, S.; CUADRAT, J. M. (2000). «Margina-
ción productiva y recuperación de la cubierta vegetal en el Pirineo: un caso de estudio en el valle de Borau». *Boletín de la A.G.E.*, núm. 29, p. 5-28.
- MAPA (1986). *Métodos oficiales de análisis*. Vol. III. Madrid.
- MCRÆ, S. G. (1988). *Practical pedology. Studying soils in the field*. Nova York: E. Horwood.
- MOLINA, D. (1996). *Processos erosius als camps abandonats del Parc Natural del Cadí-Moixeró*. Bellaterra: p. 155. [Memòria d'investigació]
- (2000). *Conservació i degradació de sòls a les àrees de muntanya en procés d'abandonament. La fertilitat del sòl al Parc Natural del Cadí-Moixeró*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. 330 p. [Tesi doctoral inèdita]
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa.
- SAÑA, J.; MORÉ, J. C.; COHÍ, A. (1996). *La gestión de la fertilidad de los suelos*. Madrid: MAPA.
- SORIANO, J. M. (1994). *Efectes del despoblament sobre el medi físic d'un territori de muntanya (Tuixén. Parc Natu-*

ral del Cadí-Moixeró): estudi de la variació de la fertilitat del sòl en camps de conreu abandonats. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. [Tesi doctoral]

TULLA, A. F. (1993). *Procés de transformació agrària en àrees de muntanya.* Barcelona: ICC.



SOCIETAT CATALANA

D'ECONOMIA

IMPACTE DEL TURISME

SOBRE EL TERRITORI,

A CÀRREC DE

MODEST FLUVIÀ,

DE LA UNIVERSITAT DE GIRONA

L'activitat turística i l'entorn natural guarden relacions particularment estretes, més estretes que la majoria d'activitats econòmiques. En efecte, el turisme consumeix recursos naturals i genera contaminació, d'una banda, però alhora la quantitat i la qualitat de l'entorn natural afecta molt les possibilitats turístiques d'una zona. Una sentència força coneguda en el sector turístic resumeix bé aquest segon efecte: «Un hotel de quatre estrelles necessita un entorn de quatre estrelles.»

La relació turisme - medi ambient és problemàtica —com ho és en general per al conjunt d'activitats econòmiques— i els resultats assolits no són sovint adequats des d'una perspectiva social i en un horitzó a llarg termini. Es comprèn així que s'estigui insistint en la idea de *sostenibilitat* i es defensi la necessitat d'introduir-la en la discussió de projectes turístics. Els economistes, però, preferim parlar d'*anàlisi cost-benefici* i recomanen l'aplicació d'aquesta tècnica en l'avaluació dels projectes. Això, però, no és fàcil. No podem esperar resultats immediats ni substancials, però sí petites passes en una direcció més correcta. I per «més correcta» volem referir-nos tant a la dimensió ambiental com a l'econòmica. Aquesta potencial sincronització entre el que és econòmicament rendible i el que és ambientalment sensible és una característica important de l'activitat turística i una de les idees principals que volem destacar en aquest treball.

Aquesta conferència s'estructura en tres parts: a la primera, ens referim a l'impacte econòmic del turisme; els resultats són una mica decebedors, ja que destaquem sobretot els buits i incerteses en el coneixement que tenim encara sobre l'activitat turística, cosa que contrasta dràsticament amb el seu pes i importància econòmics. A la segona part expliquem un treball recent que intenta valorar la influència de l'entorn en els resultats econòmics de l'activitat turística.

L'objectiu és aportar informació per a la correcta presa de decisions, tant dels agents privats com dels públics. Sovint, però, la informació no és suficient per a la correcta assignació de recursos i calen mesures de política, que tampoc no són fàcils. Per això, a la tercera part ens referim a aspectes de política turística. Comencem parlant del problema dels municipis turístics, per què convé recordar que la política turística és sobretot d'àmbit municipal, i acabem amb alguns comentaris sobre l'ecotaxa de les Illes Balears.

1. IMPACTE ECONÒMIC DEL TURISME

L'impacte econòmic del turisme abraça aquelles parts de l'activitat econòmica que depenen directament o indirecta de la demanda turística. Típicament mesurem l'impacte econòmic en termes de producció/venes, renda o bé ocupació. Així, ens interessa saber quina part de la producció, renda o ocupació d'una zona depèn, ja sigui directament o a través de les interrelacions del sistema econòmic, de la demanda turística.

Ordenem la reflexió parlant successivament de dades, mètodes i resultats, però abans hem de reconèixer que el panorama és força desolador. Realment, sabem molt poc sobre l'autèntic impacte econòmic del turisme, de manera que les referències segons les quals el turisme és el primer sector industrial de Catalunya o, en un altre nivell, que el turisme suporta una part substancial de l'economia mundial, són rebudes sovint amb incredulitat, no mancada d'arguments. I aquesta no és una posició còmoda per als agents turístics, que defensen les seves demandes sobre la base de la importància de l'activitat, ni per als gestors públics del turisme, que han de competir amb altres interessos sectorials per uns pressupostos públics limitats, ni tampoc per als estudiosos del turisme.

1.1. Dades

El primer i principal argument crític rau en les dades estadístiques disponibles sobre turisme. Dit en poques paraules: «Industry lacks consistent, credible and coherent data for many important decisions» (Smith, 1996). El projecte dels «comptes satèl·lit» del turisme —impulsat a la conferència d'Ottawa (1991) per l'OMT i el Govern del Canadà— intenta justament corregir aquest dèficit de les estadístiques de turisme en quantitat, fiabilitat, coherència i comparabilitat amb altres sectors d'activitat.

Com s'ha dit, aquest no és un problema de les nostres estadístiques de turisme, ni és degut a la poca eficiència o dedicació dels organismes que les elaboren. Hi ha raons més profundes: en primer lloc, els propis dubtes i controvèrsies sobre la definició de què és turisme; en segon lloc, el fet que el turisme és un fenomen de demanda, una forma de consum més que pas no una indústria caracteritzada per fabricar un producte més o menys homogeni. Alternativament, podem considerar-lo com un sector de síntesi, fet per combinació de les proporcions d'*output* o d'ocupació de sectors productius convencionals que són suportats per la demanda turística. (Relacionat amb això, observeu que el turisme no ha estat considerat fins ara un sector productiu en el sistema de comptabilitat nacional i que típicament moltes estadístiques són elaborades per les administracions sectorials i no pas pels organismes estadístics.) Aquest caràcter del «sector» turístic complica els càlculs: la despesa dels turistes es concreta directament o indirecta en molts sectors tradicionals, mentre que *outputs* típics del sector (per exemple, hotels o restaurants) són també comprats per no turistes. Addicionalment, el càlcul de l'*output* turístic «com de moltes activitats de serveis» són més difícils de mesurar que, per exemple, l'*output* agrícola o manufacturer.

1.2. Mètodes

El mètode generalment utilitzat en els estudis d'impacte econòmic del turisme pot resumir-se fàcilment en l'equació adjunta:

$$\text{Impacte econòmic} = \text{Nombre de turistes} \times \text{despesa per turista} \times \text{multiplicador del turisme}$$

La concepció és simple: es tracta de multiplicar el nombre de turistes per la despesa mitjana per turista i pel multiplicador adequat de la despesa turística, segons si ens interessa avaluar l'impacte sobre producció, renda o ocupació. Com és obvi, l'aplicació pràctica del mètode sol ser més complexa i ho ha de ser necessàriament per obtenir resultats més afinats. Cal, per exemple, distingir per tipus de turisme o per origen dels turistes, entre altres precisions. L'essència del mètode, però, és el que s'acaba d'explicar.

Al marge dels problemes de dades, el principal error metodològic és en l'ús i abús del multiplicador. El multiplicador reflecteix la magnitud de les interrelacions del sistema econòmic i expressa en un sol nombre la producció, renda o ocupació total generada per cada euro de despesa turística. Els multiplicadors més comuns són els de renda, definits sobre la despesa turística total a la zona (DTT) o sobre la despesa turística directa capturada a la zona (DTDC). La diferència entre les dues és el que s'anomena «taxa de captura»: de cada 100 € de DTT només una part —diguem, per exemple, 80%— és capturada per les activitats econòmiques de la zona. La resta —20 €— va directament a pagar productes «externs» i, per tant, representa una filtració inicial que no té efectes sobre l'activitat interna. En síntesi, els multiplicadors de renda mesuren en quants euros de renda es

transforma cada euro de despesa turística, sigui la DTT o la DTDC.

El càlcul dels multiplicadors és complicat i costós. Petits errors es capitalitzen en el càlcul dels impactes econòmics. Una pràctica habitual i dubtosa és la d'utilitzar els multiplicadors obtinguts per a economies «grans» (estats, comunitats autònomes) en economies petites (municipis, comarques). Com que la magnitud de les filtracions és més gran en les economies petites, aquesta pràctica tendeix a inflar artificialment l'impacte econòmic total. Un altre error comú és el de confondre la DTT amb la DTDC. Davant l'absència de treball de creació de dades i de formulació explícita d'un model econòmic apropiat, sembla raonable renunciar a l'ús de cap multiplicador.

1.3. *Resultats*

La disponibilitat i fiabilitat de dades que tenim a Catalunya sobre les tres categories convencionals per avaluar l'impacte econòmic del turisme —nombre de turistes, despesa per turista i multiplicador— és molt variada. Coneixem força bé el nombre de turistes, tenim algunes dades parcials, però també mancances serioses, sobre la despesa per turista, i no tenim pràcticament cap idea sobre el valor del multiplicador. No és un panorama gens favorable per aventurar resultats.

Caldria corregir algunes llacunes quant a les arribades a Catalunya (per exemple, els vols transcontinentals que arriben a Catalunya des de Madrid) i treballar en les dades de despesa, però sobretot ens caldria invertir recursos a estimar les interrelacions de l'economia turística a Catalunya i el valor dels multiplicadors.

En els càlculs del pes del PIB turístic sobre el PIB català, fets a partir de les dades de despesa turística, és

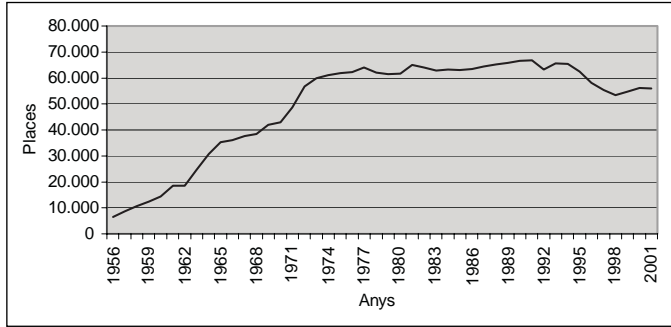
necessari l'ús de multiplicadors. L'ús assenyat i prudent dels multiplicadors obtinguts per tot l'Estat no amaga, però, una situació de provisionalitat i d'incertesa que sembla impròpia d'una activitat cabdal. S'han avançat dades que van del 12-13 % del PIB turístic sobre el total català, fins al més prudent 10-11 % oficial. L'ús de valors estàndard dels multiplicadors per la banda baixa suggeririen valors més propers al 8 %. En fi, sembla clar que aquest interval prudent —entre el 8 i el 13 % del PIB català— és massa ample i imprecís.

Aquest panorama suggereix la necessitat d'invertir més recursos en la millora de la base estadística del turisme. A més de finalitats merament erudites, això hauria de servir per reclamar una atenció pública conseqüent amb la importància real de l'activitat turística.

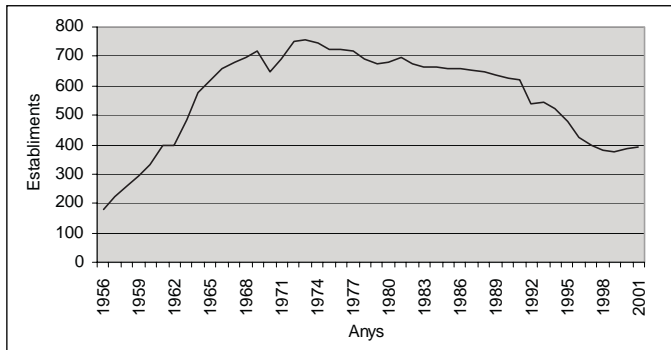
1.4. *Oferta turística*

Un altre exemple d'aquestes llacunes en el coneixement d'aspectes bàsics de l'activitat turística és el poc que sabem sobre l'oferta turística. La situació d'opacitat i desconeixement pel que fa a segones residències i apartaments és esperable. Però fins i tot el que sabem de l'oferta hotelera dista de ser prou satisfactori.

En una sèrie de treballs recents a la Universitat de Girona (Hernández, 2002; Corominas, 2002), hem intentat recuperar la sèrie històrica d'oferta hotelera que el professor Cals (UAB) va fer per la Costa Brava per al període 1956-1979 i perllongar-la fins a l'actualitat. Una feina pacient i meticulosa basada en l'explotació de les guies d'hotels de tots els anys ha permès disposar d'una sèrie històrica de l'oferta hotelera de la Costa Brava per al període 1956-2001.



GRÀFIC 1. *Evolució de les places hoteleres a la Costa Brava (1956-2001).*



GRÀFIC 2. *Evolució dels establiments hotelers a la Costa Brava (1956-2001).*

El que observem no dóna suport a la idea, gairebé convertida en tòpic, segons el qual patim una situació de sobreoferta hotelera: el creixement en el nombre d'establiments hotelers i places es produeix aproximadament fins a mitjan anys setanta, però d'aleshores ençà s'aprecia un descens en el nombre d'establiments i un general estancament en el nombre de places. Per la seva banda, la demanda turística ha continuat creixent, sovint a ritmes elevats. Com

pot deduir-se fàcilment, els grans absents aquí són els apartaments i les segones residències, aspectes que ara mateix estem treballant, però sobre els quals no puc avançar resultats.

En fi, el panorama general del nostre coneixement sobre molts aspectes clau de l'activitat turística és força decebedor. Aquests dos aspectes tractats —impacte econòmic real del turisme, i oferta turística— volen ser una mostra del que lamentablement és una situació general. Això no és una invitació a quedar-nos aturats esperant més estadístiques sobre turisme i més bones. Retornant al que és l'objecte principal d'aquest treball —les relacions entre turisme i entorn natural— es poden fer algunes coses per millorar la situació.

2. TÈCNiques HEDÒNIQUES EN L'ANÀLISI DELS PREUS DELS HOTELS DE LA COSTA CATALANA

183

A la introducció d'aquest treball es recomanava l'aplicació de tècniques i mètodes de l'anàlisi cost-benefici¹ en l'avaluació de projectes turístics. En el que segueix, se'n detalla un exemple. Es tracta d'intentar mesurar la influència que té l'entorn en el rendiment de l'activitat turística. Aquesta informació és bàsica per orientar l'assignació de recursos i la presa decisions, tant dels agents turístics privats com de les diferents institucions públiques.

Un bon punt de partida és la sentència que recollíem en la introducció: «un hotel de quatre estrelles necessita un entorn de quatre estrelles». Això és, el «producte turístic» que ofereix una empresa privada depèn d'altres «atributs» ex-

1. L'ACBS és un conjunt de tècniques i mètodes per avaluar la desitjabilitat social de projectes, més enllà de la desitjabilitat merament privada i amb perspectives a llarg termini.

terns a la seva oferta. Per exemple, de la quantitat i qualitat de l'entorn natural de la zona, de la quantitat i qualitat de béns i serveis públics disponibles, des dels serveis d'aigua o escombraries fins a la seguretat o els serveis públics de les platges, entre d'altres.

Ens preguntem quin és el valor econòmic d'aquests atributs externs que complementen decisivament l'oferta privada, quin és el preu que hauríem d'imputar-los. Com deduirà fàcilment el lector, aquests atributs no són en general objecte de transacció en el mercat, de manera que no tenim preus observables. I aquesta dificultat pot induir fàcilment a dos tipus d'error: el primer, pensar que el seu valor és zero, això és, que no valen res, de manera que qualsevol preocupació per la seva conservació correcta és ociosa i supèrflua, antieconòmica, en suma; el segon, defensar que el seu valor és infinit, això és, que no poden ser valorats amb unitats finites, que no poden ser substituïts per res, que qualsevol ús és injustificable.

En realitat, aquests atributs —entre ells, el capital natural— són escassos i valuosos (el turista-consumidor els valora i, probablement, cada vegada els valora més). Tenen, en conseqüència, un valor real però no infinit ni tampoc zero.

El segon pas és el de preguntar-se com obtenir aquests preus/valors si no hi ha mercats per a aquests atributs. L'anàlisi econòmica ha desenvolupat un conjunt de tècniques per afrontar aquestes situacions. La tècnica dels *preus hedònics* és particularment apropiada per la naturalesa del problema que ens plantejem. En essència, el mètode seguit és aquest: recollim de manera sistemàtica els preus d'oferta dels productes hotelers i la combinació d'atributs que contenen. Per mitjà de tècniques estadístiques, inferim el preu «implícit» o «hedònic» de cada atribut.

Les dades provenen dels catàlegs de nou importants majoristes de viatges espanyols,² dels quals s'extreuen d'un

en un els preus diaris de cada hotel durant el període maig-octubre (són, aproximadament, uns 325.000 preus). A més del preu diari, codifiquem la localitat de l'hotel, la categoria, el nombre d'habitacions, si està situat o no a primera línia de mar, si té o no servei d'habitacions, jardí-terrasa, pàrquing, piscina i instal·lacions esportives. És a dir, el conjunt d'atributs que poden afectar el preu de l'estada a l'hotel.

El model finalment estimat és el següent:

$$\ln PREU_i = \beta_0 + \sum \beta_i D_i^l + \sum \alpha_i D_i^s + \sum \gamma_i D_i^c + u_i$$

(Llegiu-hi: el subíndex i identifica l'hotel ($i = 1 \dots 279$). Els termes D_i^l , D_i^s i D_i^c representen, respectivament, els valors per a les variables fictícies «localitat», «serveis dels hotels» i «categoria de l'hotel». El terme u_i representa l'error aleatori, independent i idènticament distribuït, amb esperança zero i variància constant.

Aquesta equació s'estima per a dotze períodes concrets, corresponents als preus de cada quinzena dels mesos de maig a octubre. D'aquesta manera s'elimina la influència de la variació cíclica dels preus, molt acusada pels preus hotelers, cosa que permet aïllar i concentrar l'atenció en el paper de les altres variables. Una manera alternativa d'operar és la d'estimar conjuntament els efectes dels diferents atributs i de les oscil·lacions cícliques dels preus. Això vol dir estimar el model:

$$\ln PREU_{it} = \beta_0 + \sum \beta_i D_i^l + \sum \alpha_i D_i^s + \sum \gamma_i D_i^c + \sum \sigma_u D_{it}^u + u_{it},$$

L'única diferència respecte del model anterior és que ara apareixen el subíndex t , que indica el període de temps, i el

2. El Corte Inglés (73 hotels), Europlayas (188 hotels), Halcón Viajes (195), Mares Sol (225), Primera Línea (237), Rhodasol (216), Salduba (225), Travelmar (256) i Viajes Iberia (106).

terme D_{it}^l , que representa el conjunt de variables fictícies que recullen l'efecte del moment cíclic de la temporada turística.

Els resultats obtinguts són de pes i els coeficients estimats són estables en els diferents exercicis realitzats. Aporten informació referent a la influència sobre els preus dels hotels dels serveis que ofereix l'hotel, de les característiques de l'establiment, del component cíclic i també de la localitat turística on hi ha l'hotel. Un resum dels principals resultats es troba a la taula següent:

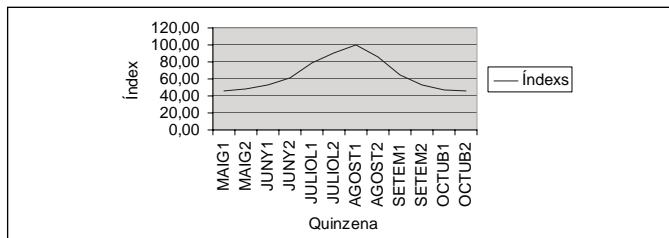
TAULA 1. *Resultats de la regressió global amb coeficients transformats*

<i>Variabes</i>	<i>Regressió global amb coeficients transformats</i>		
	<i>Coefficients</i>	<i>Desr. típica</i>	<i>Significació</i>
(Constant)	3,662	0,02	0,00
Habit	0,000	0,00	0,00
Platja	0,094	0,01	0,00
Servhab	0,118	0,01	0,00
Jarter	0,044	0,01	0,00
Parqui	0,067	0,01	0,00
Piscin	-0,017	0,01	0,19
Maig1	-0,536	0,02	0,00
Maig2	-0,513	0,02	0,00
Juny1	-0,466	0,02	0,00
Juny2	-0,383	0,02	0,00
Juliol1	-0,211	0,02	0,00
Juliol2	-0,099	0,02	0,00
Setem1	-0,355	0,02	0,00
Setem2	-0,465	0,02	0,00
Esport	0,079	0,01	0,00
Du3estre	0,162	0,01	0,00
Du4estre	0,789	0,02	0,00
Blanes	-0,120	0,02	0,00
L'Estartit	0,284	0,02	0,00
Platjaro	0,116	0,02	0,00
Roses	0,152	0,02	0,00
St. Feliu	-0,023	0,02	0,22
Tossa	0,167	0,02	0,00
Calella	-0,134	0,01	0,00
Malgrat	-0,234	0,02	0,00

<i>Variables</i>	<i>Regressió global amb coeficients transformats</i>		
	<i>Coefficients</i>	<i>Desv. típica</i>	<i>Significació</i>
Pineda	-0,152	0,02	0,00
Susanna	-0,107	0,02	0,00
Cambriils	-0,028	0,02	0,15
Salou	-0,014	0,01	0,23
Casfels	0,220	0,02	0,00
Sitges	0,408	0,02	0,00
Du1estre	-0,105	0,01	0,00
Agost2	-0,138	0,02	0,00
Octub1	-0,533	0,02	0,00
Octub2	-0,540	0,02	0,00

Mètodes hedònics en l'anàlisi dels preus dels hotels de la costa catalana: construcció d'un índex de preus per localitats.

La interpretació dels coeficients és la mateixa en totes les variables. Prenem, per exemple, la categoria de l'hotel: respecte al grup de referència —hotels de dues estrelles— el coeficient de $-0,105$ per als hotels d'una estrella s'ha d'interpretar com que els hotels d'una estrella són —una vegada controlades per la resta de variables— un 10,5% més barats que els hotels de dues estrelles. Igualment, els hotels de tres estrelles són un 16,2% més cars i els de quatre estrelles, un 78,9% més cars. Semblantment, estar a primera línia de platja permet fixar preus gairebé un 10% més cars. Els altres valors s'interpreten de la mateixa manera. També s'obtenen indicadors de l'evolució dels preus al llarg de la temporada, que segueixen un perfil ben definit i gens sorprenent.



GRÀFIC 3. Índex de preus per quinzenes.

En aquest treball, ens interessa destacar especialment el paper de la localitat turística. Segons el municipi on estigui localitzat l'hotel —i amb independència de totes les altres variables—, un hotel pot fixar preus força diferents: l'interval va des de més de 140 per a Sitges fins a menys de 80 per a Malgrat de Mar, ambdós referits a uns preus base de 100 per a Lloret de Mar.

TAULA 2. *Índexs de preus per municipis*

<i>Variables</i>	<i>Índexs</i>
Sitges	140,76
L'Estartit	128,40
Castelldefels	122,04
Tossa	116,74
Roses	115,23
Platja d'Aro	111,58
<i>Lloret</i>	<i>100,00</i>
Salou	98,60
Sant Feliu de Guíxols	97,72
Cambrils	97,19
Santa Susanna	89,34
Blanes	88,04
Calella	86,60
Pineda	84,80
Malgrat	76,62

Mètodes hedònics en l'anàlisi dels preus dels hotels de la costa catalana: construcció d'un índex de preus per localitats.

La nostra interpretació és que això reflecteix aquest conjunt de variables «d'entorn» que de manera força important condicionen i matisen el producte turístic. No solament és el «capital natural» de la localitat, sinó també el conjunt de serveis públics o la imatge. Tanmateix, és una primera evidència que «l'entorn» —*grosso modo* considerat, si es vol— afecta la rendibilitat de l'activitat turística privada, de manera que les decisions privades orientades al rendiment econòmic no poden donar l'esquena a la gestió adequada de l'entorn.

3. EL PROBLEMA FINANCER DELS MUNICIPIS TURÍSTICS I L'ECOTAXA DE LES BALEARS

El problema del desequilibri financer dels municipis turístics és un tema antic i recurrent, sistemàticament present en les reivindicacions dels municipis turístics, però mai precisat i analitzat en profunditat. Des del vessant polític o administratiu, la incapacitat de trobar sortida al problema és una mostra més de la poca flexibilitat del sistema de finançament local per tractar adequadament situacions específiques. Una d'elles, però no l'única, és la que afecta els municipis turístics.

Coneixem el diagnòstic: els municipis turístics pateixen un desequilibri financer endèmic en haver d'afrontar unes despeses molt elevades, derivades d'una població real molt superior a la població de dret, especialment en certes èpoques de l'any. Això pot derivar en un dèficit crònic, en una subprovisió de serveis públics, ja sigui en quantitat o en qualitat. Podria també incentivar els municipis turístics a un procés d'extensió de la seva base d'ingressos, particularment de l'IBI, en un cercle viciós lamentable: afavorir la nova construcció, efectivament, genera avui més ingressos, però també més demanda de serveis públics i més despesa futura.

D'altra banda, és ben cert que la política turística és essencialment una política local, de competència municipal. Els municipis han de proveir una sèrie de béns públics que defineixen el producte turístic, a més de ser responsables de l'ordenació del territori. El producte turístic que compren o no els turistes, que satisfà o no els turistes, es compon d'una oferta privada, però també d'uns béns i serveis públics absolutament necessaris i que ha de proveir l'administració local: infraestructures diverses, neteja de carrers i platges, equipaments públics, cura del paisatge, seguretat ciutadana, i tants d'altres.

La incapacitat d'atendre adequadament, sigui en quantitat o en qualitat, aquesta provisió de béns públics empobriria

de manera directa l'atractiu del producte turístic i la viabilitat econòmica de l'activitat. L'exercici que hem presentat a la segona part d'aquest treball aporta evidències al respecte.

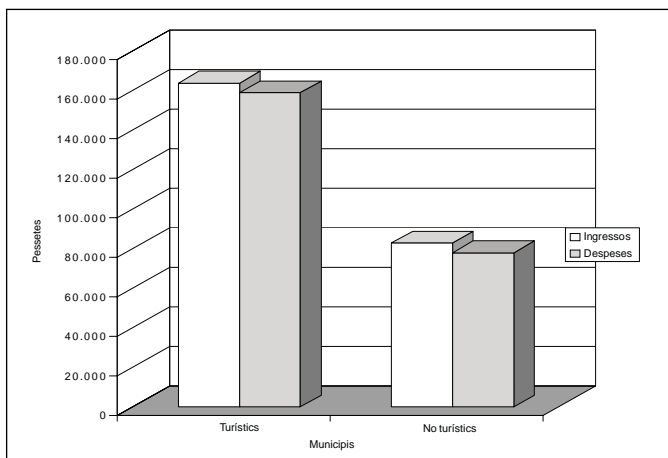
En el que segueix, voldria resumir breument les principals conclusions d'un estudi portat a terme des del meu grup de recerca de la Universitat de Girona. La base de dades que s'utilitza comprèn els pressupostos liquidats i estats comptables dels municipis catalans per al període 1992-1998 (darrera dada disponible), complementats amb altra informació estadística general. Ha estat un treball llarg i feixuc, però em sembla que la rellevància del problema s'ho mereixia. És, d'altra banda, la primera vegada que es fa una aproximació quantitativa general sobre la qüestió.

3.1. *Anàlisi global de les partides pressupostàries*

Ens interessa aquí oferir una visió ràpida i general de les diferències que mostren els pressupostos dels municipis turístics i no turístics. Les diferències són aparents a primera vista. En el gràfic 4 s'observa que tant la despesa com els ingressos per càpita, segons població censada, són significativament diferents i notablement més alts en els municipis turístics. Aquests resultats corresponen als pressupostos de 1992, però les diferències es mantenen per als anys posteriors. Val a dir que les disparitats en termes de saldos són menys clares i depenen més de l'exercici concret que observem.

L'exercici comparatiu s'ha realitzat per a altres anys i també per a diferents dimensions dels municipis, però les conclusions són idèntiques: hi ha diferències significatives en les partides per càpita basades en població censada entre municipis turístics i la resta. (Val la pena recordar que la població censada és el criteri que s'utilitza per a tot allò rellevant en termes pressupostaris: sigui la distribució de la parti-

cipació dels municipis en els tributs de l'Estat, siguin els llin-dars dels tipus impositius.) Una hipòtesi gairebé immediata suggereix que aquestes diferències tan marcades en ingressos i en despeses dels municipis turístics haurien de desaparèixer o reduir-se molt si en lloc de la població censada utilitzem la població real o flotant. Aquesta hipòtesi és alhora un suggeriment sobre l'origen del problema i també una via per cercar-hi solució: revisar el criteri de població censada, substituint-lo per població real o flotant.



GRÀFIC 4. *Pressupostos totals per càpita (any 1992).*

L'evidència corrobora aquesta intuïció: ni els ingressos ni les despeses per càpita corrents o de capital són tan diferents entre municipis turístics i no turístics si calculem la repercussió per habitant de fet i no de dret. I aquesta evidència sembla sòlida, atès que es manté si controlem els resultats pel possible efecte de la dimensió diferent dels municipis. En la taula 3 recollim, per a la submostra de municipis de més de 1.000 habitants i els de menys, les diferents partides per

càpita segons població censada i població flotant. L'observació és immediata: s'observa una clara diferència entre municipis turístics i no turístics en les partides per càpita segons població censada i una tendència clara a la similitud en les partides per càpita segons població flotant. I això se satisfà aproximadament igual per als municipis de menys de mil habitants i per als de més de mil habitants.

TAULA 3. *Partides pressupostàries per càpita, segons població censada i segons població flotant*

	<i>Municipis de menys de 1.000 hab.</i>		<i>Municipis de més de 1.000 hab.</i>	
	<i>Turístics</i>	<i>No turístics</i>	<i>Turístics</i>	<i>No turístics</i>
Ingr. corrents				
Pobl. censada	104.075	56.068	120.015	57.852
Ingr. corrents				
Pobl. flotant	50.616	51.817	46.634	56.699
Desp. corrents				
Pobl. censada	78.759	40.274	105.239	48.272
Desp. corrents				
Pobl. flotant	38.237	37.289	40.562	47.436
Ingr. capital				
Pobl. censada	56.366	30.289	13.323	9.623
Ingr. capital				
Pobl. flotant	32.627	27.979	6.356	9.484
Desp. capital				
Pobl. censada	78.501	39.953	36.509	20.453
Desp. capital				
Pobl. flotant	43.247	36.690	14.557	19.999

Font: compte general de les corporacions locals. Exercici 1992. Elaboració pròpia.

3.2. Anàlisi d'algunes partides pressupostàries concretes

Les diferències pressupostàries entre municipis turístics i no turístics es concentren especialment en algunes partides. Ens interessa referir-nos ara a les diferències entre ambdós tipus de municipis amb relació a la recaptació per IBI, atesa la seva relació directa amb la construcció d'habitatges i l'ús del sòl, i, de manera més marginal, en la recaptació per IAE

3.2.1. Recaptació per IBI

Com caldria esperar, els ingressos per IBI són molt més elevats en els municipis turístics, conseqüència lògica del superior nombre d'immobles. També podrien ser més alts com a conseqüència d'un valor cadastral superior o d'un tipus d'IBI més elevat, entre altres raons.

A l'efecte de separar les raons per les quals la recaptació per IBI divergeix, apliquem la descomposició exacta següent:

$$\begin{array}{l} \text{Recaptació} \\ \text{per càpita (1)} \\ \text{(pobl. censada)} \end{array} \equiv \begin{array}{l} \text{Nombre de rebuts} \\ \text{per càpita (2)} \\ \text{(pobl. censada)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Valor mitjà} \\ \text{per rebut}^3 \text{ (3)} \end{array}$$

TAULA 4. Diferències en la recaptació per IBI (1996) en PTA

Municipis	Recaptació pobl. cens.	Nre. rebuts pobl. cens.	Valor mitjà del rebut pobl. cens.
Turístics	36.825	1.829	20.134
No turístics	14.168	0.812	17.448

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Exercici 1996. Elaboració pròpia.

3. Com és obvi, la magnitud (3) recull tant la influència del tipus mitjà impositiu d'IBI com el valor cadastral mitjà.

El 1996 (vegeu la taula 4), la recaptació d'IBI per càpita als municipis turístics és 2,6 vegades la dels municipis no turístics (36.825 PTA per 14.168 PTA). I aquesta superior recaptació es deu sobretot a un nombre més alt de rebuts per càpita als municipis turístics: 1,83 rebuts per càpita als turístics davant els 0,81 als no turístics. Aquest és un efecte lògic de la superior quantitat de primeres i segones residències als municipis turístics. Però també es deu al fet que el valor mitjà per rebut d'IBI és superior als municipis turístics (20.134 PTA contra 17.448 PTA). I aquesta darrera característica pot ésser conseqüència d'un tipus mitjà d'IBI superior, d'un superior valor cadastral o d'una barreja de les dues coses. Malauradament, l'evidència disponible no ens permet destriar-ho. D'altra banda, aquests resultats que diferencien els municipis turístics dels no turístics es mantenen per a altres exercicis pressupostaris i també per a municipis petits i grans d'ambdós tipus.

3.2.2. Recaptació per IAE

Una altra diferència esperable en les finances de municipis turístics i no turístics és la recaptació per IAE, la qual cosa és ara especialment rellevant en la mesura en què l'IAE desapareix i, de moment, no està clar com serà substituït.

En els municipis de més de cinc-cents habitants, la recaptació per càpita per IAE és un 35% més alta en els municipis turístics, la qual cosa resulta del fet que, si bé la quota per rebut d'IAE és inferior (un 33%) en els municipis turístics, hi ha molts més rebuts (un 75% més). En conseqüència, els municipis turístics patirien especialment si no s'instrumentessin mecanismes per substituir la recaptació de l'IAE.

3.3. *Insuficiència financera en els municipis turístics?*

Una vegada vistes les diferències pressupostàries entre municipis turístics i no turístics, interessa discutir si hi ha raons o no per sostenir la reiterada queixa dels municipis turístics; al cap i a la fi els municipis turístics també recaptin més, com acabem de veure, per IBI i per IAE. Necessitem, doncs, discutir sobre criteris.

Com és obvi, la població flotant o real —censada més turistes— és qui demana béns o serveis públics a les diferents administracions. En absència d'estudis específics que mostrin cap altra cosa, sembla raonable assumir com a criteri orientador la mateixa provisió de béns i serveis per persona «real» i els mateixos preus dels serveis per usuari. De fet, en certes condicions hi ha arguments per defensar que els preus siguin més elevats en períodes punta i, doncs, segons el moment en què es produeix més aflluència, que els turistes paguessin més. (Hi ha també arguments de «second best» que incideixen en la mateixa direcció, però no es detallen en aquest treball.)

Cal preguntar-se, doncs, si els municipis turístics obtenen ingressos suficients per cobrir de manera satisfactòria les superiors demandes de béns i serveis que afronten. Un simple exercici de contrast d'igualtat de mitjanes ens confirma que, en els municipis amb una població censada superior als 500 habitants, tant les despeses com els ingressos totals mitjans per població flotant són significativament inferiors en els municipis turístics. (En canvi, no podem afirmar-ho per als municipis més petits.) El desequilibri dels municipis turístics amb una població superior a 500 habitants pot avaluar-se en 15.468 PTA de mitjana per cada habitant real o flotant que suporta el municipi, o bé, expressada en termes de població censada, en 47.487 PTA de mitjana per habitant censat d'un municipi turístic.

El debat polític ha suggerit tres vies de solució: retornar l'IVA suportat per les inversions dels municipis turístics, modificar el criteri de distribució de les transferències municipals de l'Estat i la proposta genèrica d'un cànon turístic, que pot tenir diferents modalitats.

Altres vies no seran explorades per raons de brevetat. El retorn de l'IVA suportat pels ajuntaments sembla just, però tècnicament és molt difícil d'instrumentar i, d'altra banda, cobriria un petit marge del gap existent. El segon —modificar els criteris de participació en els fons estatals— és políticament molt difícil, ja que generaria un *lobby* de municipis perdedors, però reposa sobre arguments molt sòlids. El tercer és un cànon turístic d'àmbit municipal, que ens apropa al famós cànon turístic o ecotaxa de les Balears. De fet, simples càlculs sobre la quantia del cànon no ens situen massa lluny de la quantia que de fet té l'ecotaxa balear: un euro per pernотació, com a mitjana.

L'ecotaxa balear va entrar en vigor el maig de 2002 envoltada de polèmica, i de fet avui dia continua generant polèmica. Preveu un cànon d'un euro de mitjana per pernотació als establiments hotelers de les Illes i els recursos generats són destinats pel Govern balear a projectes ambientals i del patrimoni cultural.

Sobre l'ecotaxa hi ha molts errors d'apreciació. En primer lloc, no és precisament una novetat: la taxa «de séjour» a França o figures impositives semblants s'apliquen en molts llocs i des de fa temps. No és tant una taxa, en el sentit d'estar lligada a la prestació d'un servei o a l'ús d'un domini públic, com un impost. No és un impost ambiental de tipus pigouvià, sinó que té finalitats recaptadores i és de destí finalista. D'altra banda, no hi ha un vincle clar entre l'impost i el problema ambiental concret, de manera que el tipus impositiu no guarda relació amb cap estimació del cost marginal extern que pugui haver-se generat.

Cinc mesos després d'aplicar-se, ja es fan recaure sobre la mal anomenada *ecotaxa* els mals resultats de la temporada turística, sembla que en efecte més dolents a les Illes que al conjunt d'altres zones. La més elemental prudència obliga a guardar silenci sobre això. No podem ser precisos sobre els seus efectes i hem d'admetre els errors conceptuals anteriors. Ara bé, el cànon turístic de les Balears sembla apuntar en la direcció de futur. Una cosa diferent és si la forma és o no perfectible, si l'impost ha de ser autonòmic o municipal, si ha de gravar només les pernотacions als establiments o ha d'incloure també les segones residències i els apartaments, entre d'altres qüestions a discutir.

D'altra banda, convé no confondre els dos problemes que es discuteixen: un primer problema és la insuficiència financera dels municipis turístics per fer front a les demandes de béns i serveis, la qual cosa exigeix mesures correctores per a aquestes administracions locals. Un altre problema és que les activitats turístiques poden generar fallades del mercat per sobreexplotació dels recursos naturals, i és aquí on els impostos ambientals tenen un paper important. Ambdós són reptes importants.

197

4. EPÍLEG

El turisme és una activitat econòmica de present i de futur, així ho apunten totes les previsions conegudes: l'accés al consum turístic de les noves classes mitjanes dels països en creixement —la Xina, l'Índia, els països de l'Est— és un pou enorme que alimenta les expectatives optimistes del turisme. La seva relació amb l'entorn natural és molt estreta i de dues direccions: l'impacte que el turisme provoca en l'entorn natural i la dependència de l'oferta turística de la quantitat i qualitat de l'entorn natural. El turisme de parc temàtics

—Port Aventura, per exemple— és una excepció a aquest segon efecte.

El turisme és també una activitat econòmica molt desconeguda quant a la seva importància real. La recerca en economia aplicada s'hi hauria d'abocar molt més del que ho ha fet fins ara. En aquest treball hem incidit en dos aspectes importants de la política turística: d'una banda, el problema endèmic de finançament dels municipis turístics, sobre el qual hem aportat dades i n'hem discutit propostes de solució; ens hem referit també a una de les propostes més noves i polèmiques, la mal anomenada ecotaxa de les Balears; si bé hem discutit alguns aspectes de la mesura, hem elogiat la direcció que enceta.

L'aplicació dels principis i tècniques de l'anàlisi cost-benefici (ACBS) a l'avaluació de projectes turístics és necessària per informar la correcta presa de decisions, tant dels agents privats com dels públics. Hem presentat alguns exemples. Si bé els economistes ens mostrem més partidaris de l'ACBS que del criteri de *sostenibilitat*, la sospita és que ambdós coincideixen sovint, que aquells projectes notòriament «insostenibles» tampoc no superarien un ACBS ben fet. Els economistes preferim l'ACBS perquè és més operatiu, perquè no només planteja els objectius genèrics o els problemes pendents, sinó també els mitjans i els mecanismes per resoldre'ls i, finalment, perquè apel·la també als interessos i incentius de la gent, no solament a la seva consciència.

5. BIBLIOGRAFIA

- COROMINAS, P. (2002). *Concentració geogràfica en el mercat turístic de la Costa Brava*. Universitat de Girona. [Treball de recerca de la llicenciatura d'economia]
- FLUVIÀ, M.; CARRERAS, M.; GARRIGA, A.; RIGALL, R. (2001).

Anàlisi i diagnòstic del finançament públic als municipis turístics. Diputació de Girona.

- FLUVIÀ, M. (2001, febrer). «L'impacte econòmic del turisme a Catalunya: reptes i realitats». Ponència al Congrés de Turisme de Catalunya. Tarragona.
- (2002, febrer). «Valoración económica de los atributos complementarios al producto turístico: una aplicación para los municipios de la Costa Catalana». Ponència al XI Simposio Internacional de Turismo y Ocio. Barcelona: ESADE.
- HERNÁNDEZ, B. (2002). «Anàlisi de l'oferta hotelera de la Costa Brava». Universitat de Girona. [Treball de recerca de la llicenciatura d'economia]
- SMITH, L. J. S. (1996). *Tourism analysis: A handbook*. Longman Group Limited.
- SOLÉ VILANOVA, J. (1990). «La Hacienda Municipal española ante los años noventa. Anàlisi y cumplimiento de sus principios económico-constitucionales». *Revista de Economía Pública*, núm. 9.
- ZUBIRI, I. (1998). «Financiación municipal: lecciones para España de la teoría y la experiencia internacional comparada». A: BARBERÀ, S. [ed]. *Estado y bienestar*. Fundación BBVA.



**SOCIETAT CATALANA
DE TECNOLOGIA**

CONTAMINACIÓ INDUSTRIAL

I MINERA

VALORACIÓ DE RESIDUS SÒLIDS

INDUSTRIALS,

A CÀRREC DE

LLUÍS PUIGJANER,

DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA

DE CATALUNYA

1. INTRODUCCIÓ

La tecnologia de gasificació del carbó s'ha desenvolupat durant els últims cent anys. El desenvolupament sistemàtic de millores en el procés rau en l'interès de disposar d'energia acumulable i d'utilització flexible, com serveis de calor i potència de manera combinada i amb rendiments elevats. Avui dia hi ha més de trenta-cinc tipus diferents de gasificadors, des dels que es troben en etapa de desenvolupament fins a altres que hi ha en explotació comercial a gran escala. El fet que existeixi i estigui disponible un elevat nombre de tipus de gasificadors diferents es deu al fet que cada un ha estat dissenyat per a la utilització d'un carbó específic i per produir un gas específic.

La necessitat creixent de fer servir un carbó de manera ambientalment acceptable, la qual cosa qual suposa el control d'emissions de partícules, òxids de sofre, òxids de nitrogen i traces d'altres elements, afavoreix encara més la gasificació. En el futur, pot ser necessari gasificar carbons que són diferents d'aquells per als quals el gasificador ha estat dissenyat. Tanmateix, l'exigència d'un rendiment elevat en la utilització de l'energia fa que els requisits mediambientals s'hagin de complir sense detriment de l'eficiència de la gasificació.

Resulta essencial comparar els processos de gasificació per poder-hi actuar de manera predictable perquè es compleixin els requisits esmentats. L'estudi a què ens referim és d'una rellevància especial per a noves àrees d'aplicació, entre les quals hi ha el tema d'aquesta presentació.

El potencial energètic dels residus orgànics es mostra a la taula 1. La valorització energètica de residus orgànics ofereix diverses solucions tecnològiques potencialment viables: digestió anaeròbia, combustió i gasificació. Cada una presenta característiques específiques que la fan especialment adequada a situacions diferents. La tecnologia de gasificació ofereix una flexibilitat més gran a l'origen del residu i en el seu aprofitament energètic.

TAULA 1. *Potencial energètic dels residus sòlids orgànics a Catalunya*¹

Tipus	Quantitat disponible (tones)	Valorització energètica actual (tones)	Valorització energètica potencial (tones)
Agrícola	1.367.000	230.000	900.000
RSU + RSI (fracció fusta)	308.000	37.400 (incineració)	
Subproductes ind. de 1a i 2a transf. fusta	283.000	132.000	25.000
Forestal	850.000	(ús domèstic)	317.000
Total	2.816.500	400.000	1.721.000

Aquests aspectes, sens dubte fonamentals en considerar l'exploració d'una planta, fan de la gasificació una alternativa especialment atractiva i justifiquen l'elevada inversió realitzada durant aquests últims anys, tant per part d'entitats públiques (Unió Europea: programes ECSC, APAS, JOULE) com privades (projectes EPON-Holanda, TPS-Suècia).

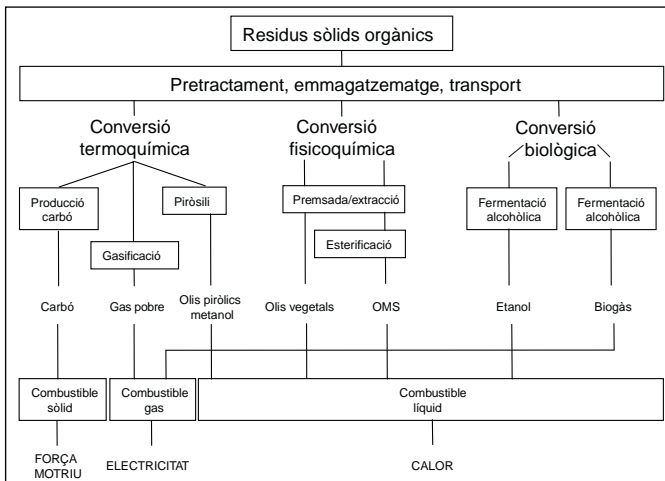


FIGURA 1. *Vies de conversió de residus sòlids orgànics (Cánovas, 1997).*

1. Dades basades en Cánovas, 1997.

En aquesta presentació tractarem de la valorització d'un tipus de residus especialment conflictius per la seva naturalesa, quantitat i dificultat d'aprofitament i reciclatge. Es tracta de les deixalles de fusta i carbó residual. Presentarem els beneficis potencials esperats i les tecnologies considerades actualment en desenvolupament i millora. Descriurem a continuació dues aplicacions concretes en l'estadi de desenvolupament de projecte. Finalment presentem una realització en curs a escala industrial.

2. APROFITAMENT ENERGÈTIC DE RESIDUS DE FUSTA

Les deixalles de fusta procedents dels processos primaris de la fusta i de les demolicions presenten un problema potencial. Si s'utilitzen com a farciment en terraplens, ocupen grans volums, es podreixen i produeixen metà, diòxid de carboni i altres gasos d'hivernacle. Com a font d'energia utilitzada en una planta que crema carbó redueixen el consum de combustibles fòssils i també s'alterna l'efecte hivernacle de manera significativa. Com a avantatges addicionals es pot esmentar la reducció de volum de cendres i de les emissions de SO_2 i NO_x . Els residus de fusta requereixen diverses operacions: recollida, emmagatzematge, tractament i gasificació/combustió.

L'aposta de futur es decanta per la gasificació, que presenta els següents beneficis potencials i resultats esperats (Puigjaner, 1997):

- Utilització aprofitable de residus semiurbans.
- Valorització de materials residuals.
- Producció neta d'energia via gasificació.
- Utilització del gas integral en un cicle combinat (IGCC).
- Utilització en plantes de calor i potència (CHP).
- Aspectes mediambientals socials i econòmics.

Els tipus de residus de fusta a considerar tenen un origen divers. Resulten d'especial importància, pel seu volum i repercussió en origen i destinació, les següents:

- Residus de fusta urbans i semiurbans: demolicions, moble vell, màquines escurabutxaques.
- Residus de fusta industrial: palets, encenalls.
- Biomassa residual: residus de neteja del bosc.
- Mescles de residus de fusta d'origen divers.
- Mescles de fusta i altres residus: carbó residual, escombraries, plàstics, pneumàtics...

La consideració de cada tipus de residu incideix en les diverses operacions del procés i té un impacte tecnicoeconòmic que ha de ser analitzat amb detall en l'estudi de viabilitat del projecte en qüestió.

205

3. DESENVOLUPAMENT DE TECNOLOGIES NETES I EFICIENTS PER A L'APROFITAMENT DE RESIDUS

El desenvolupament de tecnologies netes i eficients per a l'aprofitament i valorització de residus té l'origen, en gran manera, en la necessitat de millorar metodologies i tècniques de l'ús del carbó. Aquesta constatació resulta una mica òbvia, tenint en compte que, només dins la Unió Europea, el carbó és la font del 80 % de l'energia consumida i que el 40 % de la potència generada es produeix mitjançant l'ús de carbó.

En l'última dècada s'ha fet un esforç important per millorar el rendiment del procés de gasificació amb una reducció simultània d'emissions nocives, especialment CO₂. S'han aconseguit avenços significatius en la integració del gasificador en un cicle combinat de calor i potència. En aquest sentit s'han posat al punt sistemes de neteja de gasos

de nova generació integrats a la mateixa planta. Aquestes millores ofereixen una perspectiva de més eficiència, flexibilitat en la utilització de carbó/biomassa/residus, reducció en les emissions, especialment les de CO_2 , i un cost econòmic més baix del sistema de producció de potència.

A continuació s'indiquen aquelles tecnologies de gasificació que ofereixen perspectives més bones, i els seus avantatges i inconvenients.

Combustió en llit fluïditzat a pressió (PFBC)

- Elevada eficiència elèctrica en disposició de cicle combinat (42-45 % amb vapor supercrític).
- Temperatura moderada d'entrada a la zona d'expansió de la turbina (850 °C).
- Flexibilitat de combustibles.
- Excel·lent control mediambiental: 95 % de separació del sofre en absència de NO_x .
- Problemes de materials a la caldera (erosió dels tubs).

Gasificació integrada amb cicle combinat (IGCC)

- Eficiència tèrmica més elevada (45-47 %).
- Utilització més eficient de les turbines.
- Bon control mediambiental.
- Flexibilitat d'utilització.
- Problemes de materials més reduïts.

Combustió en llit fluïditzat a pressió atmosfèrica (AFBC)

- Eficiència elèctrica més baixa (36-38 %).
- Cost d'inversió inferior.

Cicles combinats híbrids

- Gasificació parcial + combustió residual (PFBC/AFBC).
- Eficiència neta molt elevada (47-52 %).
- Problemes de materials de combustió.
- Més complexitat tecnològica \Rightarrow cost de manteniment elevat.

Els gasificadors emprats i les seves característiques típiques són a la taula 1 (s'expliquen amb detall en un altre treball).

TAULA 2. *Característiques típiques dels gasificadors emprats (propulsats per aire)*

	Temperatura (°C)			Partícula	Capacitat		
	Reacció	Gas sortida	Quitrà		Màx. (th ⁻¹)	Mín.	Màx.
Llit fix							
Corrent descendent (<i>downdraft</i>)	1.000	800	m. sota	moderat	0,5	0,1	1
Corrent ascendent (<i>updraft</i>)	1.000	250	m. alt	moderat	10	1	10
Contracorrent	900	900	m. alt	alt	1	0,1	2
Llit fluid							
Reactor únic	850	300	normal	alt	10	1	20
Llit f. ràpid	850	350	sota	m. alt	20	2	50
Llit circulant	850	350	sota	m. alt	20	2	100
Llit d'arrossegament	1.000	1.000	sota	m. alt	20	5	100
Reactors bessons	800	700	alt	alt	10	2	50
Llit mòbil							
Múltiple	700	600	alt	sota	5	1	10
Horizontal	700	600	alt	sota	5	1	10
Inclinat	800	700	sota	sota	2	0,5	4
De cargol	800	700	alt	sota	2	0,5	4
Altres							
Forn rotatori	800	800	alt	alt	10	2	30
Reactor cicló	900	900	sota	m. alt	5	1	10

2. A una eficiència global del 36 %.

4. APLICACIONS

4.1. *Estudis de valorització de mescles fusta/carbó*

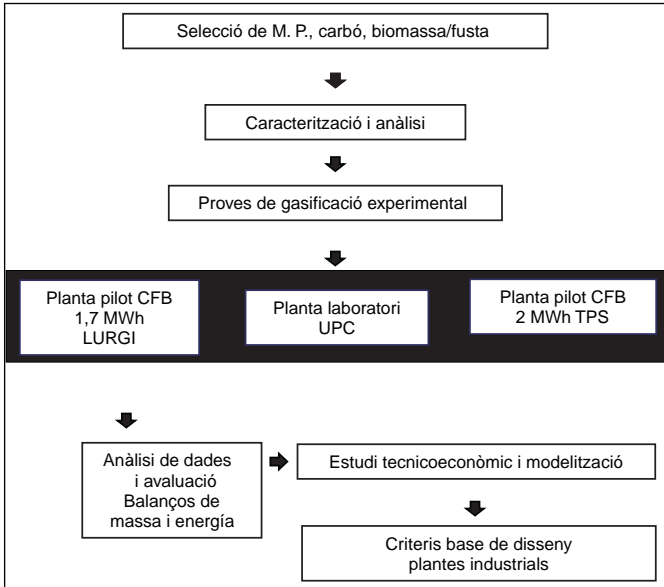
L'ús de carbons subbituminosos de baixa potència calorífica i alt contingut en sofre i cendres barrejat amb biomassa sembla interessant, atesa la complementarietat de propietats dels dos combustibles, ja que, contràriament a les característiques pròpies dels carbons pobres, la biomassa té un contingut baix en cendres (generalment inferior al 20%) i un contingut elevat en volàtils, cosa que és favorable tant des del punt de vista tècnic com del mediambiental, per a una combustió i gasificació neta del tipus de carbó considerat.

Per tant, la utilització combinada d'ambdós materials —biomassa i carbons pobres— en un procés de cogasificació podria ser potencialment atractiva des d'un punt de vista econòmic, mediambiental i social. El procés, si resultés satisfactori, faria possible usar un nombre definit de carbons locals pobres, que es troben en àrees urbanes i semiurbanes, on causen problemes mediambientals i socials amb conseqüències econòmiques importants. Aquestes circumstàncies, al costat de l'escassa experiència prèvia, van justificar la realització d'un ambiciós projecte patrocinat per la Comunitat Europea (Apas Clean Coal Technology, CT92-0001), que va tenir com a objectius els següents (Puigjaner, Pan, Velo, 1995):

- Demostrar la viabilitat del llit fluïditzat com a tecnologia neta per a la gasificació de mescles de carbó de baixa qualitat/biomassa i l'optimització del procés sota criteris energètics i mediambientals.
- Desenvolupar els criteris bàsics d'enginyeria de disseny de plantes industrials, segons els resultats assolits en la fase experimental, i determinar la tecnologia més adequada tenint en compte diferents

factors, com són la mida de les instal·lacions i les característiques de les mescles a emprar com a combustibles, fent èmfasi en l'equip i els sistemes necessaris per assegurar un procés net i eficient.

L'organització del projecte per aconseguir els objectius previstos es reflecteix a la figura 2.



209

FIGURA 2. Metodologia del projecte.

La matèria primera seleccionada va consistir en biomassa d'origen divers (fusta de pi, palla, fangs de depuradores) i carbó de baixa qualitat (carbó residual, lignit negre). La seva composició (anàlisi immediata i elemental) i el poder calorífic inferior (PCI) s'indiquen a la taula 3.

TAULA 3. Anàlisi elemental i immediata i poder calorífic de la matèria primera emprada

Material	Anàlisi elemental (wt %)				Anàlisi immediata (wt %)					PCI (kJkg ⁻¹)
	W	A	VM	FC	C	H	O	N	S	
Hulla	7,4	68,7	10,1	13,8	16,8	1,5	3,7	0,6	1,3	5.303
Lignit negre	1,0	34,3	39,8	24,9	37,4	2,9	15,8	0,5	8,0	17.955
Fusta de pi	15,0	1,0	65,8	18,2	44,0	5,2	34,3	0,5	0,1	16.162

També es va portar a terme un estudi termogravimètric preliminar que va permetre caracteritzar l'etapa de piròlisi i determinar les condicions inicials d'operació i desenvolupament del model cinètic (Cánovas, 1997).

Proves experimentals

Les proves experimentals es van portar a terme en una unitat de laboratori amb reactor de llit fluid (BFB) a petita escala que permetia una gran flexibilitat en tractament de matèria primera i condicions d'operació (UPC), i en dues plantes pilot de llit circulant (CFB) a dues escales diferents.

La planta de laboratori flexible (1.250 kg/m²h) va permetre fer assaigs experimentals en condicions d'operació diverses (figura 3). Les variables observades van ser la relació òptima carbó/biomassa, temperatura òptima d'operació i influència de l'aire secundari per obtenir un gas de poder calorífic acceptable i una major eficiència tèrmica del procés de gasificació (Puigjaner, Pan, Velo, 1995; Pan, Velo, Puigjaner, 1996; Pan *et al.*, 2000).

L'escala de laboratori fixava les condicions d'operació nominals que eren reproduïdes a una escala més gran en planta pilot de llit fluid circulant proveïda de tractament dels gasos calents (LURGI) per passar finalment a una escala de 2 MWth (ACFBG de TPS).

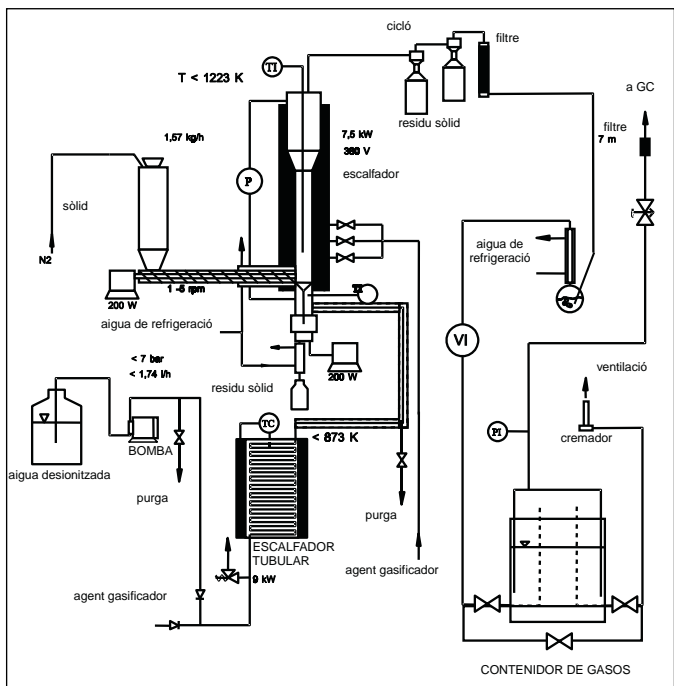


FIGURA 3. Diagrama de flux de la planta de gasificació de laboratori (UPC).

Resultats i avaluació tecnicoeconòmica

Assaigs exhaustius realitzats a petita escala per a diverses proporcions de carbó residual/biomassa permeten concloure que, en afegir-hi biomassa, el poder calorífic del gas resultant augmenta significativament, i s'assoleix una concentració màxima d'hidrogen per a mesclades que contenen un 40% de biomassa. Prenent com a base mesclades 40/60 de biomassa/carbó, la mida màxima de la planta de cogasificació a considerar assoliria els 98 MWth. En el cas d'Espanya, el carbó

residual disponible no és limitant, ja que hi ha més de sis-centes zones de dipòsit al nord d'Espanya. La biomassa disponible en un província com Terol limitaria la capacitat màxima de la planta a 32,5 MWth.

L'avaluació tecnicoeconòmica de generació de potència basada en cogasificació de biomassa de pi i carbó residual utilitzant un sistema de gasificació de llit circulant es va dur a terme mitjançant simulació (simulador de processos Eclipsi) i amb la informació proporcionada pels resultats de les plantes experimentals i assaigs cinètics en termodinàmica.

Suposant un cost de 8 ECU/t per al lignit/carbó residual i 40 ECU/t per a la biomassa, el cost de producció d'energia elèctrica resultaria ser de 79 ECU/MWh utilitzant lignit, i de 100 ECU/MWh en el cas del carbó residual, cosa que implica un estalvi del 20% en cas d'utilitzar lignit.

L'impacte ambiental resultant d'aquests processos mostra l'efecte favorable de la presència de biomassa en les emissions. En condicions d'operació òptimes s'aconsegueix un nivell d'emissions de: $\text{CO}_2 < 900 \text{ g/kWh}$, $\text{NO}_x < 0,33 \text{ g/kWh}$ i $\text{SOTA}_2 < 1 \text{ g/kWh}$.

Es pot concloure que l'ús de fusta per a cogasificació permet:

- En l'aspecte energètic:
 - un augment de conversió del carbó,
 - millores en el rendiment net i disminució de pèrdues,
 - la utilització en turbines de gas (IGCC) i màquines de combustió interna.
- En l'aspecte mediambiental:
 - una reducció substancial d'emissions,
 - una reducció del contingut de sofre en el gas,
 - una baixa emissió de NO_x ,
 - una reducció en cendres.

— Aspecte econòmic:

- la utilització de carbó pobre i residus de carbó,
- l'aprofitament i valorització de residus de carbó.

4.2. *Tractament de residus de fusta/biomassa mitjançant gasificació en reactor de llit fluïditzat*

La biomassa està àmpliament considerada com el combustible de més potencial com a font d'energia del futur. Com a recurs energètic, pot representar el 50 % de la demanda energètica total a Europa, utilitzant per a cultiu de biomassa específic el terreny innecessari per a aliments, i considerant també altres rebuigs i residus d'agricultura, comerç i consumidors (Bridgwater, 1995; Parkinson, Fouhy, 1996).

Un dels problemes més grans de la biomassa com a cultiu energètic és el cost associat de mà d'obra, collita i transport, atesa la dispersió en grans àrees de conreu. En canvi, quan es tracta d'altres tipus de residus sòlids urbans (RSU) i industrials, els esmentats costos són molt més baixos, i poden arribar a ser negatius en el cas de RSU, encara que en aquests casos es requereixen pretractaments extensius per fer-los compatibles amb el procés de conversió. Existeix, per tant, un límit en la mida de les plantes generadores de potència a partir de residus de biomassa, i que oscil·la entre 10 i 100 MWe segons la localització.

L'objectiu del projecte que aquí es presenta preveu la posada al punt de metodologies i tècniques per al tractament i la valorització energètica de mescles de biomassa residual i residus de fusta (Projecte C-2364 UPC, Junta de Residus, Generalitat de Catalunya). L'estudi se centra en el procés de gasificació que utilitza un reactor de llit fluïditzat. Les matèries primeres són residus de fusta d'origen divers: palets, demolició d'obra civil, màquines recreatives, crostes

de vegetals, biomassa de tala i neteja del bosc. L'agent gasificador és aire atmosfèric barrejat en parts convenients amb vapor d'aigua. El resultat final ha estat el desenvolupament de l'enginyeria de disseny preliminar per a un procés de gasificació en què s'obté un gas net i amb potència calorífica suficient per al seu aprofitament per a combustió en un motor o turbina.

L'estudi comprèn dues fases:

1. Estudi de valorització pilot
 - Disseny de les instal·lacions apropiades per a cogasificació de fustes.
 - Tractament de nivells de composicions variades.
 - Proves experimentals de gasificació.
 - Valoració dels resultats i conclusions per a la segona fase.
2. Etapa de demostració pilot
 - Tractament de fusta fins a 75 t/dia.
 - Sistema de condicionament dels gasos.
 - Planta de cogeneració de 3 MW.

Les matèries primeres van ser seleccionades segons la localització de la planta de demostració. El disseny preliminar havia de considerar una planta flexible per a una utilització de sòlids d'un sol tipus o bé de mescles de diversos tipus en proporcions diverses. Així s'obtindrien els paràmetres d'operació òptima (temperatura, proporció aire/sòlid, identificació de composició de mescles òptimes) per mantenir un gas de potència calorífica estable. L'anàlisi immediata determinada per termogravimetria i humitat relativa s'expressa a la taula 4, i l'anàlisi elemental i la potència calorífica inferior obtinguts a partir de la composició s'indiquen a la taula 5.

TAULA 4. *Anàlisi immediata determinada per termogravimetria i humitat relativa*

Tipus	Humitat (% base humida)		Anàlisi immediata (% base seca)	
	C fix		Volàtils	Cendres
Bosc	7,38	17,64	72,98	2,00
Moble vell	3,79	17,55	77,46	1,20
Màquines recreatives	6,90	17,85	74,05	1,20
Palets	2,59	15,03	79,98	2,40
Fusta de demolicó	4,75	17,41	74,84	3,00

TAULA 5. *Anàlisi elemental i potència calorífica inferior obtinguts a partir de la composició*

	Anàlisi elemental (% base humida)					Potència calorífica (kJ/kg) (calculada)			
	C	H	N	S	O	PCS		PCI	
						b. s.	b. h.	b. s.	b. h.
Moble vell	46,16	5,77	0,80	0	37,87	23,361	21,453	18,863	17,287
	44,59	6,32	1,57	0	42,83	22,523	21,575	17,627	16,864
Màquines recreatives	43,17	5,72	4,42	0	38,59	22,093	20,395	17,534	16,152
Palets	45,37	5,69	0,07	0	43,88	21,852	21,221	16,897	16,395
Fusta de demolicó	45,58	5,89	2,22	0	38,56	22,639	21,445	18,186	17,203

215

La planta de laboratori dissenyada va anar precedida d'un estudi hidrodinàmic per caracteritzar el comportament del sòlid en règim de fluïdització, el sistema d'alimentació i descàrrega en continu i subsistemes de calefacció i control. Es va utilitzar com a base la planta de la figura 3, amb les modificacions convenientes per potenciar la seva flexibilitat d'ús, millores en el transport i el maneig del sòlid i modificacions del sistema de neteja de gasos, així com la possibilitat d'ús d'aportacions d'aire secundari a diverses altures del reactor de llit fluid. Les característiques del reactor s'indiquen a la taula 6.

TAULA 6. *Característiques del reactor de llit fluiditzat*

Temperatura de disseny	1.000-1.050 °C
Pressió de disseny	1,4 bar
Secció	12,6 cm ²
Volum	4,57 litres
Columna principal	AISI-904-L
Columna d'alimentació	Flexiglas-XT
Resta de materials	AISI 316-L

El sistema d'anàlisi en línia permet avaluar els components del gas net (CO, CO₂, N₂, H₂, CH₄, C₂H₆ i C₂H₄) i les traces de NH₃HCL i H₂S. Els quitrans es condensen, i es determina la quantitat per unitat de gas produït.

El resultat de la fase d'enginyeria de predisseny va resultar satisfactori. El gas obtingut és un gas combustible de baix contingut en oxigen i poder calorífic inferior (PCI) que oscil·la entre els 4.000-5.000 kJ/m³ c.n., en el qual el valor més baix correspon a la fusta de palets, i el més alt a la biomassa (vegeu la figura 4). L'eficiència de la gasificació (el poder calorífic del gas sobre el poder calorífic del sòlid) és de l'ordre del 40 al 60 % (vegeu la figura 5).

216

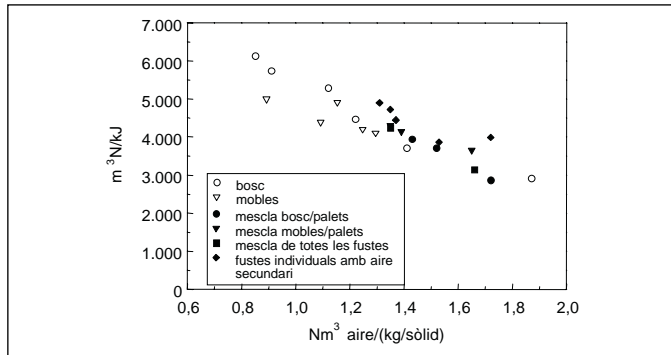


FIGURA 4. *Variació del PCI segons el material i la proporció aire/sòlid.*

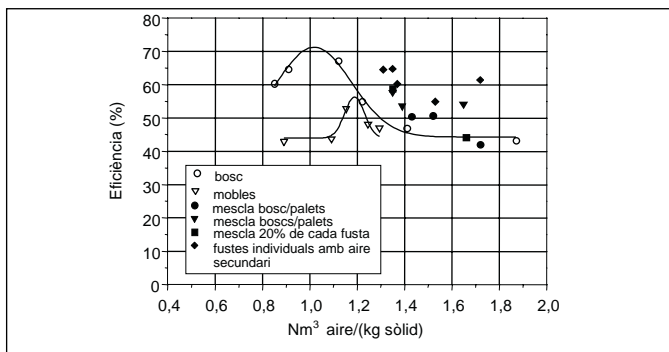


FIGURA 5. Eficiència de la gasificació segons el material i la proporció aire/sòlid.

Cal destacar la influència positiva de l'aportació d'aire secundari. Aquest aspecte és molt interessant per disminuir el contingut en quitrans, que es redueixen de 7 a valors inferiors d'1 g/m³ c.n. La seva influència també és favorable a la reducció del contingut en HCl. Els components nocius analitzats, H₂S, HCl i NH₃, es mantenen inferiors a les 100 ppmv. Encara que aquests valors són molt inferiors als que s'obtenen en la gasificació del carbó, tanmateix el nivell de sulfhídric està per sobre del límit de 20 ppmv necessàries per a la utilització de turbines.

Els resultats d'aquest estudi permeten arribar a les conclusions següents:

- La valorització de residus de fusta té solució a curt termini per mitjà de la gasificació en llit fluïditzat.
- Permet la generació neta d'energia en cicle combinat integrat a indústries de procés consumidores d'energia vapor.
- Contribueix eficaçment a la disminució de l'impacte ambiental i a una millora social.
- Estudis en curs mostren la seva validesa técnico-econòmica.

5. APLICACIONS A ESCALA INDUSTRIAL

En vista dels resultats obtinguts i com a continuació del projecte descrit a l'apartat 4.2, s'ha iniciat l'estudi d'una planta per al tractament de 50.000 kg/dia de fustes residuals (vegeu la figura 6). Les diferències respecte a altres esquemes es basen en l'objectiu de maximitzar l'extensió de l'energia i minimitzar l'impacte ambiental.

L'economia del procés afavoreix la gasificació de biomassa amb relació a la combustió per produir vapor i electricitat, atesa la major eficiència del procés de conversió (NREL, Golden, Colorado). L'electricitat pot ser produïda en plantes d'aquest tipus a un cost proper als 0,05 \$/kWh, que és el mateix que s'obté en una planta que fa servir carbó. Avantatges addicionals són el baix contingut en sofre de la biomassa, encara que el volum de cendres volants és més gran i requereix la utilització de filtres electroestàtics, ciclons separadors i rentatge de gasos.

218

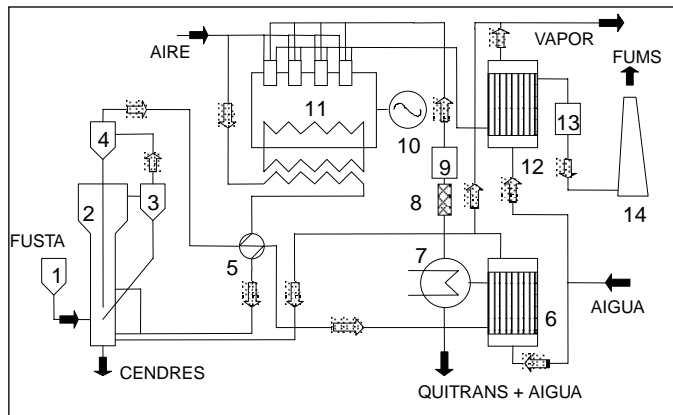


FIGURA 6. Planta de gasificació de fustes residuals. Equips principals.

No hi ha obstacles més grans a la comercialització de la gasificació de biomassa. Pel que fa a aspectes millorables, inclouen el maneig i l'alimentació del sòlid i la xarxa de recollida i seguiment (excepte a Escandinàvia). Tant és així que hi ha un bon nombre de plantes en fase de demostració, unes quantes amb el patrocini de la Unió Europea i del Departament d'Energia dels EUA (DOE). Tanmateix, la iniciativa privada està disposada a apostar per aquesta alternativa energètica: l'empresa Varkus (Finlàndia) pretén comercialitzar-ne la tecnologia en un rang de 30-60 MW a partir de 1998 (taula 7).

TAULA 7. *Projectes de demostració de gasificació de biomassa*

<i>Tecnologia</i>	<i>Lloc</i>	<i>Finançament</i>	<i>Típus d'unitat</i>	<i>Capacitat</i>	<i>Alimentació</i>	<i>Estat</i>
Bioflow Oy Varkus, Finlàndia	Varnamo, Suècia	Privada	PFB	6 MWe/ 9 MWt	Fusta residual	Operativa
Renugas (IGT)	Hawaii, EUA	U. S. DOE, Hawaii	PFB	6 MWe	Residus agrícoles	Posada en marxa
TPS AB Suècia	Bahia, Brasil	Banc Mundial	CFB atmosfera	32 MWe	Eucaliptus	Completat el disseny
	Eggborough, Regne Unit	Unió Europea	CFB atmosfera	10 MWe	Residus forestals	Lliurada el 1998
	Holanda	Privada	CFB atmosfera	30 MWe	Residus forestals	En planificació
Enviropower Hèlsinki	Tampere, Finlàndia	Privada, Govern finlandès	CFB pres.	60 MWt	Fusta residual i lignit	Temporalment fora de servei
	Summa, Finlàndia	Govern finlandès	CFB pres.	60 MWt	Fusta	Completat el disseny
	Elkraft, Dinamarca	Unió Europea	CFB pres.	8 MW	Residus forestals	En fase de disseny
Lurgi Energie	Di Cascans, Itàlia	Unió Europea	CFB atmosfera	14,3 MWe	Fusta residual	En fase de disseny
Batelle, Columbus, Ohio	Vermont, EUA	U.S. DOE, Privada	atmosfera	15 MWe	Fusta residual	Inici de la fase de construcció

Tecnologia	Lloc	Finançament	Tipus d'unitat	Capacitat	Alimentació	Estat
Free University	Brussel·les, Bèlgica	Unió Europea	BFB atmosfera	2,5 MWt	Fusta residual	Prevista per funcionar el 1996
Stewag/ABB	Graz, Àustria	Unió Europea	atmosfera	5 MWe	Fusta residual	Per lliurar en 1998/99

El potencial de la tecnologia de gasificació integrada a cicle combinat (IGCC) s'estén al tractament eficient de tot tipus de residus (residus de la indústria petroquímica, olis pesants, coc, residus del descarnament en automòbils, pneumàtics i plàstics no reciclables) on altres tecnologies resultarien tecnològicament impossibles o econòmicament inviables (taula 8). Addicionalment, les indústries de procés químic (CPI) semblen decidides a una inversió que va més enllà de la producció de vapor i electricitat per produir també hidrogen per al seu ús en refineria, recuperació de sofre i producció d'amoniac i metanol (en plantes que usen oxigen com a agent gasificant (vegeu la figura 7).

TAULA 8. *Plantes IGCC per a utilització d'oli residual*

Tecnologia	Localitat	Finançament	Capacitat	Data d'inauguració
Texaco	Isab, I	Privat	500 MWe	1998
	Saras, I	Privat	500 MWe	1998
	API, I	Privat	220 MWe	1998
	El Dorado, EUA	Privat	40 MWe	1997
Shell	Permis, NL	Privat	80 MWe	1997

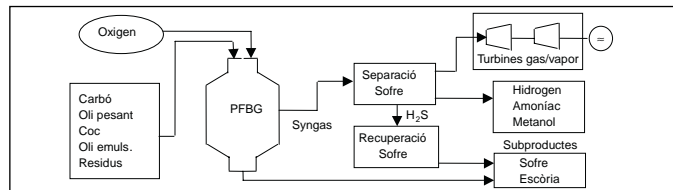


FIGURA 7. *Procés Texaco per a producció de vapor i electricitat i productes de síntesi (H_2 , NH_3 , $MeOH$) i recuperació de sofre.*

6. PERSPECTIVES DE FUTUR

Per tot el que s'ha exposat anteriorment, la tecnologia de gasificació és summament atractiva per tractar d'una manera eficient i mediambientalment acceptable els residus sòlids urbans, encara que la seva utilització comercial depèn essencialment del tipus de residu i els molts casos d'una posada al punt perquè es puguin tractar les diverses classes de residus. A continuació indicarem diversos aspectes que resumeixen les tendències de l'esforç continuat per millorar la tecnologia de gasificació per al tractament de RSU.

Les millores previstes en un futur pròxim se circumscriuen dins de l'àmbit d'intensificació i integració del procés (*process integration/process intensification*).

En particular, es preveuen avenços importants en:

- Reducció significativa del contingut en quitrans en els gasos producte ($< 1 \text{ g/Nm}^3$) mitjançant una dosificació precisa d'aire secundari (Pan, Roca, Velo, Puigjaner, 1999).
- Reducció complementària del contingut en HCl, $\text{H}_2\text{EL S}$, NH_3 ($< 1 \text{ g/Nm}^3$) mitjançant sistemes de pressió i tractament a alta temperatura (Pan *et al.*, 2000).
- Reducció de la mida i augment de l'eficiència del gasificador mitjançant modelització precisa del procés de gasificació (models cinètics i hidrodinàmics en estat estacionari) (Reina, Velo, Puigjaner, 1998; 2000).
- Modelització dinàmica del procés mitjançant la utilització de models híbrids (basats en models matemàtics complementats amb informació transparent de models neuronals evolutius) (Puigjaner, 2000).

- Automatització intel·ligent de la planta gasificadora que integri un sistema de gestió basat en la qualitat del gas, el sistema de supervisió i diagnosi i el control a baix nivell (Nougués, Pan, Velo, Puigjaner, 2000).
- Optimització del procés en temps real (RTO) que preveuen els dos últims apartats anteriors sota criteris de funció-objectiu en termes de qualitat ambiental del gas, potència calorífica i rendiment de la instal·lació (Puigjaner, no publicat).

Tots aquests aspectes, es preveu que estiguin presents en projectes actualment en desenvolupament en fase precompetitiva, en gran part finançats per la Comunitat Europea (programes ECSC i ENERGY), que ha mostrat decididament el seu suport a la tecnologia de gasificació com a tractament més adequat dels residus sòlids urbans.

Finalment, la consideració de nous processos que obrin un nou cicle de vida i contribueixin a un desenvolupament sostenible han de merèixer una atenció especial amb vista al futur. En aquest sentit existeixen noves propostes que preveuen gasificació en cicle tancat amb generació de productes d'alt valor afegit i disminució d'emissions de gas amb efecte hivernacle (CO_2 i CH_4) (Gasifuel, 2000).

7. AGRAÏMENTS

Aquest treball ha estat realitzat gràcies al patrocini de la Unió Europea (APAS project CT92-0001; ECSC-7220-ED/81) i de la Junta de Residus de la Generalitat de Catalunya (C-2364). En els esmentats projectes han participat els professors Enric Velo, Pa Ying Gang, Xavier Roca i altres col·laboradors del Laboratori del Centre de Medi Ambient (LCMA).

8. BIBLIOGRAFIA

- BRIDGWATER, A. V. (1995). «The technical and economic feasibility of biomass gasifications for power generation». *Fuel*, núm. 74, p. 631.
- CÁNOVAS, R. (1997). «Potencial energético de los residuos orgánicos». A: FLOTATS, X. [ed.]. *Aprofitament energètic de residus orgànics*. P. 1.
- GASIFUEL. «Biomass and plastic wastes co-gasification interconnected with methanol production for vehicle fuel cells» (ECSC-PL-NNE5-2000-00194).
- NOUGUÉS, J. M.; PAN, Y. G.; VELO, E.; PUIGJANER, L. (2000). «Identification of a Pilot Scale Fluidised-Bed Coal Gasification Unit by Using Neural Network». *Applied Thermal Engineering*, vol. 20, p. 1561-1575.
- PAN, Y. G.; ROCA, X.; VELO, E.; PUIGJANER, L. (1999). «Removal of far by secondary air in fluidized bed gasification of residual biomass and coal». *Fuel*, núm. 78, p. 1703-1709.
- PAN, Y. G.; VELO, E.; PUIGJANER, L. (1996). «Pyrolysis of Blends of Biomass with Poor Coals». *Fuel*, núm. 75, p. 412-418.
- PAN, Y. G.; VELO, E.; ROCA, X.; ROIG, S.; MANYÀ, J. J.; SÁNCHEZ, G.; PUIGJANER, L. (2000). «Fluidized-Bed Co-Gasification of Residual Biomass/Poor Coal Blends for Fuel Gas Production». *Fuel*, núm. 79, p. 1317-1326.
- PARKINSON, G.; FOUHY, K. (1996, març). «Gasification: new life for an old technology». *Chemical Engineering*, p. 37.
- PUIGJANER, L. (1997). «Aplicación de las tecnologías de gasificación a la valorización de residuos sólidos». A: FLOTATS, X. [ed.]. *Aprofitament energètic de residus orgànics*. P. 223-236.
- (2000). «Modeling and Optimisation of Process Operations: Recent Advances and Industrial Validation». A: MUJTABA, I. M.; HUSSAIN, M. A. *Application of Neural Network*

and Other Learning Technologies in Process Engineering.
Londres: Academic Press.

- «Real-time Optimisation in the Process Industries: Closing the Loop». *Can. J. Chem. Eng.* [Acceptat]
- PUIGJANER, L.; PAN, Y. G.; VELO, E. (1995). «Fluidized Bed Gasification of Low Grade Coals and Biomass in Different Mixtures in Pilot Plants Aiming to High Efficiency and Low Emission Processes». *Final Report*, Apas Contract CT92-0001.
- REINA, J.; VELO, E.; PUIGJANER, L. (1998). «Kinetic study of the Pyrolysis of Waste Wood». *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 37, p. 4290-4295.
- (2001). «Fluidization of waste wood particles with mechanical agitation of the bed». *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 40, p. 393-397.

**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 sobreviuen 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.

228



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-

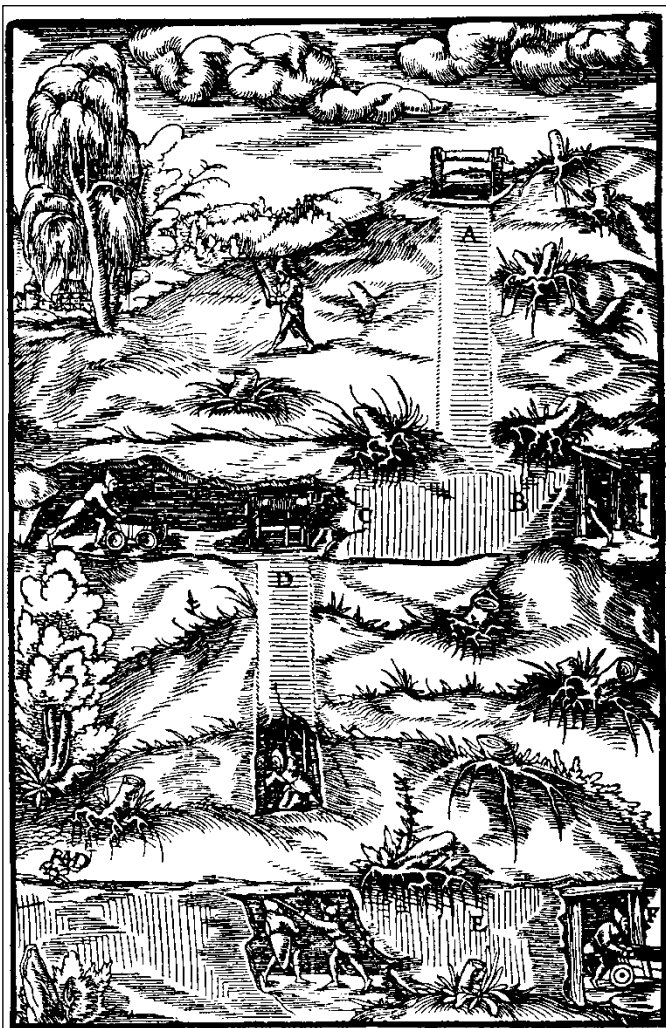
gui de ferro i aram per a les eines i armes, sigui per a l'obtenció del cinabri per amalgamar or a la recent Amèrica, o sigui d'altres matèries primeres del naixement de la primitiva indústria, s'excaven veritables mines subterrànies, amb tot el que comporta el seu conreu miner. En aquestes mines hi 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 terres 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).

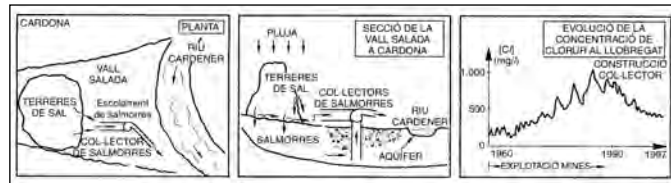


FIGURA 5. Representació esquemàtica de l'escolament de salmorres i de la intercepció. A la dreta es mostra l'evolució de les concentracions de clorur al riu Llobregat (Carrera, Font, Mata, 1998).

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

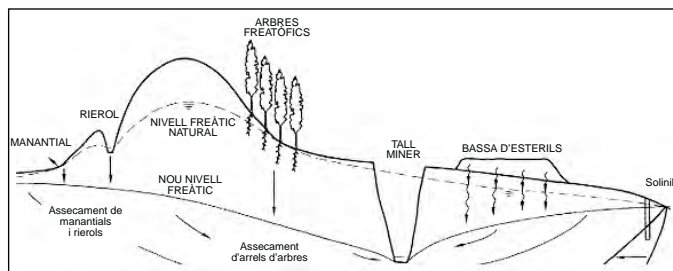


FIGURA 6. Representació esquemàtica d'alguns dels possibles impactes de la mineria sobre les aigües subterrànies (Carrera, Font i Mata, 1998).

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

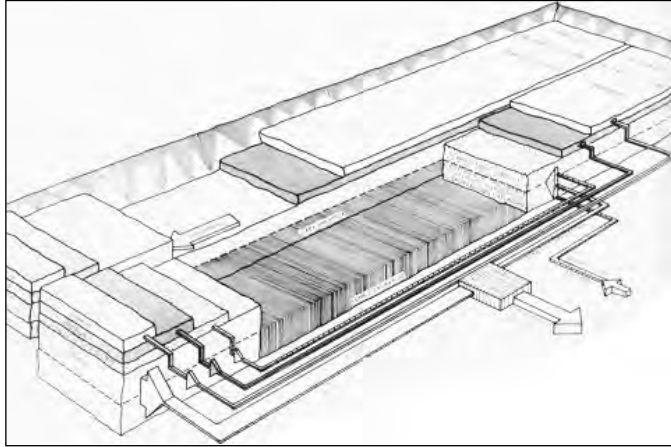


FIGURA 7. Excavació amb disseny de finestra (Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya, 1987).

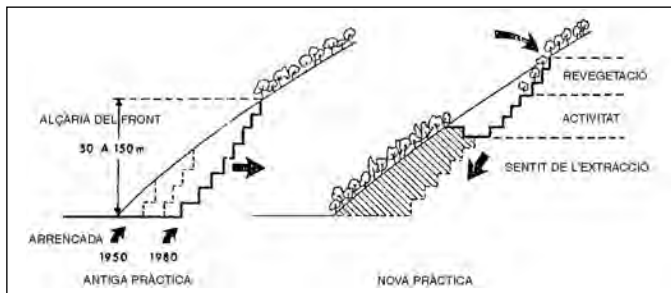


FIGURA 8. Excavació en descens (MOPU, 1989).

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.)

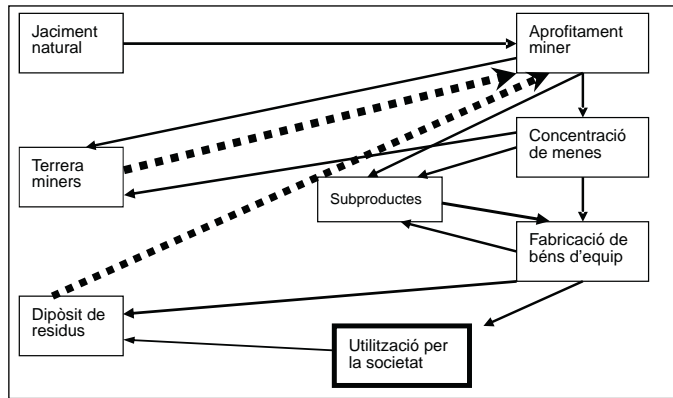


FIGURA 9. *Cicle dels recursos naturals (amb indicació de les innovacions proposades, amb fletxes discontinues).*

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 directors 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. Duplictat 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*. Provenint 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. DEPARTAMENT 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.



**INSTITUCIÓ CATALANA
D'HISTÒRIA NATURAL**

LES CRESCUDES FLUVIALS

I LA GESTIÓ SOSTENIBLE

DEL TERRITORI,

A CÀRREC DE

JORDI COROMINAS,

DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA

DE CATALUNYA

1. INTRODUCCIÓ

Les crescudes fluvials són, amb diferència, el risc natural de més impacte social i econòmic del nostre territori. Només en els darrers cinquanta anys, cal esmentar els aiguats del Vallès del 25 de setembre de 1962, que es van cobrar gairebé un miler de víctimes. Altres crescudes importants van ser les de l'11-12 d'octubre de 1970 a les conques del Ter i el Fluvià; el 20-21 de setembre de 1971 al Llobregat; del 7-8 de novembre de 1982 als rius pirinencs. Finalment, el 10 d'octubre de 1994 un intens episodi plujós va colpejar les serralades costaneres catalanes, donant lloc a revingudes, especialment dels rius del Vallès i del Camp de Tarragona: vuit persones hi van perdre la vida.

En els darrers anys hi ha hagut també nombrosos aiguats de gran intensitat, però més localitzats, com el de la muntanya de Montserrat el 10 de juny de 2000, amb 170 mm de pluja en 19 hores i una intensitat màxima de 100 mm en 45 minuts (Oranias, 2000) o el més recent, de 9 d'octubre de 2002 a Castelldefels, amb 230 mm recollits en 6 hores.

Una societat moderna com la nostra tolera cada vegada menys els danys i les situacions de risc generades per situacions meteorològiques com les esmentades. L'Administració es veu, doncs, empesa a realitzar treballs de recuperació i també a executar onerosos plans de protecció que impliquen la construcció d'embassaments, canalitzacions, murs de protecció, dipòsits de retenció d'aigües..., entre altres actuacions.

Cal exigir que les actuacions per a protegir-nos de les riuades siguin eficaces i permanents, però també sostenibles. Per a aconseguir-ho, és imprescindible un coneixement adequat del medi, de la dinàmica dels sistemes naturals i, en particular, el comportament de les crescudes.

En aquesta exposició farem un repàs del context de les crescudes, de les mesures de protecció (en particular, la canalització), les seves implicacions, i de les alternatives que exis-

teixen. L'argument s'estructurarà al voltant del comentari d'alguns exemples.

2. LES CRESCUDES: UN PROCÉS MÉS DELS SISTEMES NATURALS

El medi físic s'organitza en sistemes. Aquests es desenvolupen en un espai, que fa de contenidor, on són presents diversos elements (els organismes vius, els fluids, els materials) i on actuen diversos processos (fluxos de matèria i energia). Cada sistema sol establir un equilibri dinàmic susceptible de trencar-se mitjançant qualsevol acció exterior, que el fa evolucionar fins a convergir, tard o d'hora, en una nova situació d'equilibri.

Els rius són un dels sistemes naturals. La xarxa fluvial té com a unitat fonamental la conca de drenatge, que té uns límits finits, anomenats divisòries. En tota conca de drenatge hi ha entrades en forma de precipitació i sortides, com ara l'aigua i el sediments. S'hi donen bescanvis d'energia, i els processos dominants són els induïts per la gravetat, facilitant l'erosió i el transport de sediments, així com l'escolament de l'aigua. A la conca també s'hi donen altres activitats, com la biològica, que està íntimament lligada al sistema fluvial i al cicle hidrològic.

Les inundacions no són un problema ambiental seriós. Les crescudes són processos naturals que han existit sempre i que continuaran existint. Tenen efectes clarament beneficiosos, com ara la recàrrega d'aqüífers i de les zones humides, la fertilització de les terres agrícoles i l'aportació de sediments necessaris per a la regeneració de platges i deltes. Les crescudes han esdevingut un risc i un peatge només en la mesura en què l'ésser humà ha envaït, de manera sovint irresponsable, l'espai fluvial.

3. EL CONTEXT MEDITERRANI

Les condicions que donen lloc als aiguats i les crescudes extraordinàries a la Mediterrània són ben conegudes (Masachs, 1958): la fosa ràpida de la neu de les muntanyes a causa d'un augment sobtat de la temperatura, les tempestes d'estiu, de caràcter local, i les tempestes de la tardor, que solen afectar una gran extensió de territori.

Les crescudes de fosa de neu són característiques de finals de l'hivern i la primavera. Els rius pirinencs, com ara el Llobregat, desguassen grans volums d'aigua que fan créixer el nivell de manera tranquil·la. Quan l'acumulació de neu és important, els rius poden inundar les ribes sense gaires conseqüències. Si l'augment de temperatura és sobtat i va acompanyat de pluges generals, la crescuda pot resultar brusca i extraordinària.

264

Les tempestes d'estiu de caràcter local predominen sobretot a la Serralada de Marina. Els exemples més coneguts es troben a la comarca del Maresme, per bé que d'episodis tempestuosos de gran intensitat se'n donen també per tot el país. Les pluges convectives dels mesos de juliol, agost i setembre tenen una durada d'unes poques hores i una elevada intensitat. És freqüent que s'enregistrin entre 40 i 100 mm en el decurs de la tempesta, i això fa que les petites rieres com les del Maresme, normalment seques, passin en pocs minuts a desguassar desenes de metres cúbics per segon.

Els temporals de tardor originen les crescudes de més magnitud i virulència. Generen pluges de caràcter torrencial amb intensitats que assoleixen els 100 mm/h i poden descarregar 200 o 300 mm en l'interval d'algunes hores o pocs dies, havent superat els 700 mm durant els aiguats de 1940 (Novoa, 1984). En aquests esdeveniments no és estrany recollir en 24 o 36 hores més del 50 % de la pluja mitjana anual. Les condicions més favorables es donen a finals de l'estiu, quan les aigües del mar escalfa-

des són una gran reserva de calor i humitat per a les capes baixes de l'atmosfera. Les borrasques que es generen o reactiven a la Mediterrània occidental envien vents càlids i carregats d'humitat cap a la costa. Aquests vents de llevant ascendeixen pels relleus muntanyosos i es condensen ràpidament, de manera que desencadenen fortes pluges. En aquestes condicions, la presència d'una gota freda o d'un front d'aire fred pot fer que les precipitacions esdevinguin torrencials. Els arxius històrics mostren que periòdicament tenen lloc pluges intenses que provoquen crescudes sobtades al rius mediterranis. Per exemple, al riu Ter es van produir grans crescudes els anys 1552, 1617, 1678, 1763, 1802 i 1843. Del segle XX cal esmentar especialment els esdeveniments plujosos de 1907, 1937, 1940 i 1982, que van afectar la Serralada Pirinenca (Corominas, 1985).

El relleu exerceix una gran influència en el desenvolupament de les crescudes, en dos sentits. Primerament, forçant el moviment ascendent de les masses d'aire humides i la seva condensació. Els màxims de precipitació estan relacionats amb la presència d'obstacles orogràfics (serralades costaneres, Pirineu oriental). En segon lloc, els vessants de fort pendent fan concentrar les aigües ràpidament, i donen lloc a puntes de crescuda brusques que només duren unes poques hores (crescudes sobtades o *flash-floods*). Les localitats situades als fronts muntanyencs són les més afectades per l'arribada de la punta de la crescuda poc temps després que s'hagi assolit la màxima intensitat de pluja, fet que dificulta l'adopció de mesures d'alerta i evacuació.

4. ACTUACIONS A LES ZONES INUNDABLES

La lluita contra els efectes adversos de les crescudes es pot encarar des de diverses aproximacions: a) l'ordenació del territori, amb la restricció d'usos a les zones potencialment

inundables; b) els sistemes d'alerta i evacuació, amb la finalitat fonamental d'evitar la pèrdua de vides humanes, per bé que no impedeix els danys materials, i c) les obres hidràuliques de protecció.

L'ordenació del territori és l'eina més eficaç i econòmica per a afrontar el fenomen de les riuades. La identificació, delimitació i regulació de les zones potencialment inundables és una pràctica usual en molts països desenvolupats. A casa nostra disposem, per exemple, del pla INUNCAT, que identifica les zones en situació de perill als principals rius catalans. No obstant això, ara com ara, l'INUNCAT no ha tingut la traducció en una norma d'obligat compliment que restringeixi l'ocupació als marges del rius, cons de dejecció i planes al·luvials.

Nombroses poblacions catalanes, especialment barricides de construcció recent, es localitzen en zones potencialment inundables. Aquesta situació, de fet, fa necessària l'adopció de mesures de protecció així com dispositius d'alerta i evacuació. Aquests darrers, si bé són normals als grans rius de l'Europa central, on les crescudes tarden alguns dies a fer el seu recorregut, a casa nostra només tenen sentit als rius més importants, com l'Ebre. En la resta de cursos, fins i tot els dels rius mitjans com el Ter i el Llobregat, les crescudes es desenvolupen en el decurs d'unes poques hores; és el que coneixem amb el nom de rierades, riuades o crescudes sobtades (*flash floods*). A les capçaleres dels rius pirinencs i de les serralades costaneres, el temps de concentració de les aigües és d'unes poques hores i això fa que les possibilitats d'alerta i evacuació preventiva siguin escasses. Per aquest motiu, l'estratègia de lluita contra les riuades s'ha dirigit prioritàriament vers la construcció d'obres de protecció.

La construcció d'obres hidràuliques de protecció sol estar justificada quan hi ha perill per a la població o en casos especials, com ara l'encreuament dels rius per infraestructu-

res (carreteres, ferrocarrils). Hi ha dues tipologies principals d'obres de protecció: les preses i els endegaments.

Les preses regulen el cabal que transporta el riu aigües avall aprofitant la capacitat d'emmagatzematge dels embassaments, per mitjà de comportes i sobreeixidors. Amb això s'arriba a modificar l'hidrograma de la crecuda, tot escapçant la punta màxima de cabal, el fet que es coneix com *laminació de l'avinguda*. Per a fer-ho, cal disposar d'un pla de gestió que faci conciliar la necessitat de disposar d'una gran quantitat d'aigua emmagatzemada (per a abastament, regadiu, generació elèctrica...) i la necessitat de deixar un volum sense omplir, volum de resguard, que és el que permetrà retenir part de la crecuda (Vergés, 1997). A les zones urbanes, s'han construït també dipòsits subterranis amb la mateixa finalitat, és a dir, retenir l'aigua transitòriament, per a deixar-la anar després de manera controlada i sense que provoqui danys.

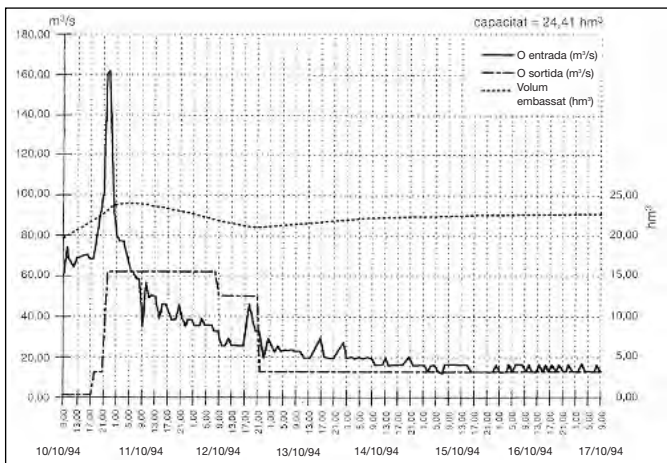


FIGURA 1. Hidrograma del riu Cardener a l'embassament de Sant Ponç els dies 10-17 d'octubre de 1994. Es pot observar que a l'entrada de l'embassament s'ha reduït dràsticament a la sortida (modificació de Vergés, 1997).

Els embassaments tenen importants servituds ambientals (DGMA, 1998). D'una banda, modifiquen les característiques físiques, químiques i biològiques de l'aigua. Als nutrients aportats pel riu, s'hi han d'afegir els acumulats als sòls i els de la degradació de la vegetació existent al vas inundat, de manera que resulta un augment del N i P. Si hi ha un excés de nutrients, la funció depuradora de la massa d'aigua es redueix, augmenta la biomassa de plàncton que, en morir, sedimenta i entra en descomposició, amb la qual cosa esgota l'oxigen i dona lloc a condicions anaeròbies al fons. Les variacions constants de nivell de l'embassament (variacions que no estan sotmeses als ritmes estacionals naturals) fan desaparèixer la flora i fauna litoral. La mateixa presa esdevé una barrera, sovint insuperable, per a la mobilitat de la fauna piscícola, especialment la truita i l'anguila. Finalment, l'embassament constitueix una trampa de sediments que, per una banda, disminueix la capacitat d'emmagatzematge i escurça la seva vida útil i, per l'altra, interromp el flux de sediments necessari per a mantenir l'equilibri als marges i llit del riu, i després, al delta i platges que pugui alimentar.

Els endegaments estan concebuts per a impedir que el riu surti de mare. Van des de les actuacions més modestes, com són el reforç i protecció dels marges amb escullera amb la finalitat d'impedir l'erosió lateral, la construcció de motes per a permetre un augment de la làmina d'aigua i augmentar el cabal que és capaç de desguassar la secció, la construcció de murs de formigó, amb la doble finalitat d'evitar l'erosió lateral i augmentar la capacitat de la secció per l'increment de la seva alçada i disminució de la rugositat del llit, fins a solucions molt més contundents, com ara el desviament del curs o el seu cobriment.

Com que molts rius i rieres catalans tenen conques petites i humanitzades, la construcció d'embassaments és poc viable. Les actuacions més freqüents per a fer front a les cres-

cudes són les canalitzacions (protecció de marges, construcció de murs i motes). Atesa la facilitat amb què s'adopta la solució de la canalització dels trams fluvials, comentarem breument les afeccions que solen produir sobre el medi i l'efectivitat de l'acció protectora davant les crescudes.

5. IMPACTES DE LA CANALITZACIÓ

La canalització és una pràctica d'enginyeria que causa una gran alteració ambiental. Les tasques de canalització solen comportar l'eixamplament, rectificació i dragat de la llera; la tala de la vegetació de ribera; la construcció de dies i motes, i l'estabilització de marges.



FIGURA 2. *Canalització de la Valira a Andorra la Vella.*

L'excavació de la llera suposa la retirada dels arbres, arbusts i dels al·luvions dels marges, amb la finalitat d'augmentar-ne la secció. El rebaixament del llit i el redreçament

del curs busquen augmentar el gradient longitudinal i de la velocitat de les aigües. Tot plegat, amb la finalitat de permetre una més gran capacitat de desguàs del tram de riu (vegeu la figura 2).

La tala de la vegetació de ribera del llit i els marges pretén la reducció dels obstacles i de la rugositat de la secció, fent augmentar la velocitat de circulació de les aigües i també la capacitat de desguàs. La desaparició de la vegetació suposa reduir els elements flotants que sovint són la causa d'obstruccions en ponts i altres infraestructures.

L'aixecament de dics o motes pretén, per una banda, evitar el desbordament de les aigües cap a la plana al·luvial i, per l'altra, augmentar la secció transversal i la seva capacitat de desguàs.

Finalment, una vegada definida la secció transversal del riu, l'estabilització dels marges té per finalitat evitar modificacions de la secció. Això sol comportar el rebaixament del pendent del marge i, sovint, la col·locació de blocs d'escullera o un mur de formigó, per a evitar l'erosió dels sediments dels marge per les aigües.

Són nombrosos els danys que aquests treballs de canalització provoquen al medi fluvial. Es poden establir quatre tipus d'impacte (Keller, 1976): *a*) danys al canal i plana d'inundació, *b*) danys a la fauna piscícola i a la salvatge, *c*) degradació estètica i *d*) pertorbacions aigües avall.

Danys al canal i plana d'inundació. El redreçament i aprofundiment del canal s'ha associat amb importants erosions dels marges (Emerson, 1971). L'aprofundiment del canal rebaixa el nivell de base dels afluents, i fa iniciar un cicle d'erosió per ajustar-se a les noves condicions. L'erosió migra aigües amunt, de manera que dona canvis de pendent.

A les planes al·luvials, la crescuda representa també una ocasió per a la recàrrega dels aquífers. En efecte, la

mobilització de sediments de la llera provocada pel pas de les aigües elimina els llims i argiles que, amb el temps, havien decantat i omplert els buits entre els grans de sorra i grava. Aquests llims i argiles dificultaven la infiltració de les aigües al subsòl, fent reduir de manera significativa la recàrrega dels aqüífers. En minvar la crescuda, les sorres i graves de nou dipositades permeten la infiltració de les aigües durant setmanes o mesos.

D'altra banda, el desbordament de les aigües per la plana al·luvial constitueix un mecanisme addicional d'infiltració a l'aqüífer, i també d'acumulació de llims sorrenes que fertilitzen els terrenys agrícoles.

Danys a la fauna piscícola i a la salvatge. Qualsevol activitat que faci desaparèixer la vegetació, remogui el sediment, n'augmenti la concentració, o canviï les característiques del flux d'aigua, afectarà els peixos i la vida salvatge. Encara que les crescudes fan molt de mal a la fauna, les canalitzacions redueixen dràsticament la productivitat biològica.

Els peixos necessiten normalment un hàbitat caracteritzat pel següent: *a*) alternança de condicions de flux lent i aigües fondes (gorgs) amb aigües ràpides i somes (ràpids), per a poder fer les funcions d'alimentació, cria i refugi; *b*) varietat d'ambients d'aigües ràpides i refugis, que els dona protecció davant l'excés de velocitat de l'aigua; *c*) com a resultat de les condicions de flux variable, hi ha una distribució natural dels sediments als ràpids i barres de grava, amb un ambient adequat per a l'establiment d'organismes bentònics, que són l'aliment dels peixos i altres animals, i *d*) els arbres, matolls i altra vegetació proporcionen refugi i aliment als peixos. En rius truiters, la vegetació dels marges protegeix l'aigua del sol i permet mantenir freda la temperatura de l'aigua.

La canalització pot convertir un curs meandriforme amb abundància de gorgs i ràpids en un curs rectilini sense

gorgs. A més, la gran varietat natural de mida de blocs com la vegetació, pot desaparèixer. En crescudes la velocitat pot ser excessiva per als peixos sense protecció. A més, com que l'aigua de les tempestes drena de pressa amb poca infiltració a l'al·luvial (baixa recàrrega), es redueix el flux d'estiatge perquè hi ha poca reserva subterrània. Pitjor encara, l'aigua disponible a l'estiatge, a causa de l'eixamplament de la llera, té poc calat. Com que és soma i no hi ha arbres per a protegir-la del sol, s'escalfa. Pels motius esmentats, la productivitat biològica dels rius canalitzats minva.

Convé tenir present que els cursos fluvials, sobretot aquells que disposen d'una abundant vegetació de ribera, constitueixen corredors biològics fonamentals per a permetre el desplaçament de la fauna vertebrada d'un hàbitat a un altre, ajudant a trencar l'aïllament en què es troben moltes espècies en zones periurbanes fortament humanitzades.

Degradació estètica. La qualitat de pintoresc desapareix en canalitzar. A més de l'aigua, el paisatge natural té diversitat i estimula els sentits amb contrastos i canvis de color. La canalització redueix la qualitat estètica d'un curs d'aigua.

Efectes aigües avall. La canalització pot augmentar les crescudes aigües avall en transportar l'aigua més ràpidament del que els trams inferiors són capaços de desguassar. També pot fer coincidir o no les crescudes dels diferents afluents.

El desbordament dels marges és el resultat més visible de les crescudes; aquest esdevé un perill per a les activitats que es desenvolupen prop dels rius, però és també un element esmoreïdor de la crescuda fluvial. Les planes al·luvials funcionen com a magatzem transitori de les aigües que han sortit de mare i redueixen el cabal màxim de crescuda riu avall, especialment, en les crescudes sobtades o *flash-floods*.

L'anàlisi de les crescudes històriques als rius on s'han construït llargs trams de motes mostra que aquestes fan augmentar el nivell de les aigües riu avall. Per exemple, la crescuda del riu Mississipí de 1973 va assolir nivells rècord de les aigües als estats d'Iowa i de Missouri, tot i que el cabal circulant va ser menor que la crescuda de 1927. Això s'explica per la gran quantitat de motes construïdes, i es calcula que, sense aquestes, el nivell de les aigües hauria estat 3,3 m més baix (Rahn, 1991). De tot això, en parlarem en els apartats següents.

6. EFECTIVITAT LIMITADA DE LES PROTECCIONS

Els endiguaments són una barrera en dos sentits. Tenen com a funció principal impedir que les aigües del riu desbordin, però com a contrapartida, les aigües dels cursos afluent tenen dificultat per a desguassar, especialment quan l'endiguament ha fet augmentar el nivell de crescuda de les aigües del riu. Sovint s'ha d'actuar a la confluència per tal de garantir el correcte desguàs d'aquells.

Un efecte semblant el provoquen les obres lineals (terraplens d'autopistes o de ferrocarrils) que segueixen paral·lelament el riu i s'interposen al traçat dels torrents i rieres afluent. Això és el que va succeir el 12 de novembre de 1988 amb el terraplè de l'autopista A-2 i les rieres que travessen Sant Feliu de Llobregat, o l'octubre de 2002 amb l'autopista C-32 a Castelldefels. La incapacitat de desguàs d'aquestes vies ràpides va ser la responsable del negament de les propietats.

Això també passa amb la xarxa de clavegueres, que es troba una cota molt per sota del nivell del riu. Els abocaments s'efectuen generalment per gravetat, amb la qual cosa la cota de desguàs està molt propera a la del llit del riu. En

alguns casos, el desguàs disposa d'un sistema de comporta antiretorn o clapeta, que impedeix l'entrada de l'aigua del riu quan el nivell sobrepassa el del col·lector o claveguera. Els problemes s'originen per les situacions següents:

- a) Existència de desguassos desproveïts de plaqueta i d'altres en què la clapeta no arriba a tancar-se, tot deixant que l'aigua del riu hi penetri i inundi terrenys que no haurien d'estar afectats.
- b) Pel mateix fonament dels desguassos, el tancament prolongat de la clapeta (per evitar l'entrada de les aigües del riu) provoca el represament de les aigües pluvials i causa desbordaments i inundacions.

Aquesta mena de situacions van esdevenir-se als aiguats de novembre de 1982 (Mujeriego i Dolz, 1983): l'aigua va entrar per un desguàs que no tenia plaqueta, just avall del pont de la carretera C-245 de Sant Boi de Llobregat a Cornellà, després va rebentar la tapa de registre en un punt proper a l'abocament i va inundar el marge esquerre a les rodalies del pont.

La resolució d'aquests problemes requereix fortes inversions. Així, a finals dels anys noranta a Sant Vicenç dels Horts, es va construir un col·lector que recull les aigües del clavegueram i les rieres locals per a vessar-les al Llobregat, a l'alçada de la riera de Torrelles. A l'autovia del Llobregat s'han construït diversos caixons per permetre el desguàs de rieres com les de Pocanals i Corbera.

En els casos on, malgrat la presència dels dics, el riu ha estat capaç de desbordar, els mateixos dics fan d'obstacle per al retorn de les aigües, com s'ha pogut comprovar durant els aiguats del mes d'agost de 2002 a l'Europa central.

En qualsevol cas, la construcció de les obres de defensa donen un fals sentiment de seguretat i són un llum verd

per al creixement urbà. Cal ser conscients, però, que cap obra de protecció fluvial no garanteix un risc nul. Això no és assumible des d'un punt de vista econòmic. Per aquest motiu, els dics i les motes es construeixen d'acord amb el que s'anomena *crescuda de disseny*, és a dir, la crescuda màxima que hom pot esperar amb una probabilitat donada, en general petita. A casa nostra, les obres que afecten les activitats humanes es dissenyen per desguassar crescudes que poden succeir en períodes de retorn entre dos-cents i cinc-cents anys (Vergés, 1994).

En qualsevol cas, la correcció i protecció d'una conca fluvial s'ha de fer amb visió global, pensant en les conseqüències que les obres poden comportar tant aigües amunt com aigües avall. El cost d'aquestes actuacions pot ser molt elevat (dics, preses, desviaments...). Ocupar un tram de la plana al·luvial pot significar la realització de treballs en una extensió molt més gran i un cost molt elevat; en molts casos, de dubtosa rendibilitat.

275

7. ANÀLISI D'UN CAS: LES CRESCUDES D'OCTUBRE DE 1994 A LA CONCA DEL BESÒS

El 9-10 d'octubre de 1994 un intens episodi plujós a les serralades costaneres catalanes va provocar grans crescudes, especialment dels rius del Vallès i del Camp de Tarragona. Vuit persones van perdre la vida directament per les crescudes, i els danys als edificis i infraestructures van ser avaluats en més de 130 milions d'euros. Molts pobles es van veure afectats per la inundació. Per exemple, el riu Francolí va desbordar a l'àrea industrial de Tarragona i va obligar a evacuar nou-cents veïns del barri del Serrallo. Els danys més grans van tenir lloc a les zones industrials properes als cursos d'aigua. Altres danys es van produir per l'erosió dels marges dels

rius i dels terraplens de les carreteres situades a la plana d'inundació, pel col·lapse dels ponts per erosió de les piles (dotze ponts de carretera van ser destruïts), i per l'essllavissament d'àrees residencials (l'Estartit, la Riba). Entre els efectes geomòrfics de les crescudes s'inclogueren la migració de canals fluvials, l'erosió del llit, el soccavament de marges i l'eixamplament del llit.

La distribució de la pluja va seguir l'orientació de les serralades costaneres, sobretot pel costat de llevant. La màxima intensitat de pluja en 48 h va ser enregistrada a l'oest i al sud de Tarragona: 424 mm a Alforja i 406 a Cornudella. Un altre valor màxim es va localitzar prop del golf de Roses, on les pluges van assolir 381 mm a Torroella de Montgrí, i 325 a l'Estartit. Entre ambdós màxims, les precipitacions enregistrades van oscil·lar entre els 100 i el 200 mm (vegeu la figura 3).

La majoria dels rius que drenen la Serralada Prelitoral van sortir de mare i es van estendre per la plana al·luvial. Els cabals punta més grans es van assolir al riu Llobregat, a Martorell (1.800 m³/s), i al riu Francolí, a Tarragona (1.400 m³/s). Aquests cabals van ser més petits que altres crescudes precedents. Així, el cabal enregistrat al riu Llobregat va ser un 40 % inferior a l'enregistrat el setembre de 1971 (3.080 m³/s). El cabal observat al riu Francolí havia estat superat els dies 18-19 d'octubre de 1930 (1.976 m³/s) i el setembre de 1874 (2.200 m³/s). El riu Besòs va assolir 1.100 m³/s a la seva desembocadura, només lleugerament per sota del seu màxim conegut de 1.234 m³/s, del 25 de setembre de 1962. El 1994 només es van produir danys menors a la conca baixa del Besòs, mercès a les obres de defensa construïdes després dels aiguats de 1962. Per contra, els seus afluents (riera de Caldes, riu Tennes i riu Congost) van destruir les defenses dels marges i es van desbordar (Corominas *et al.*, 1995).

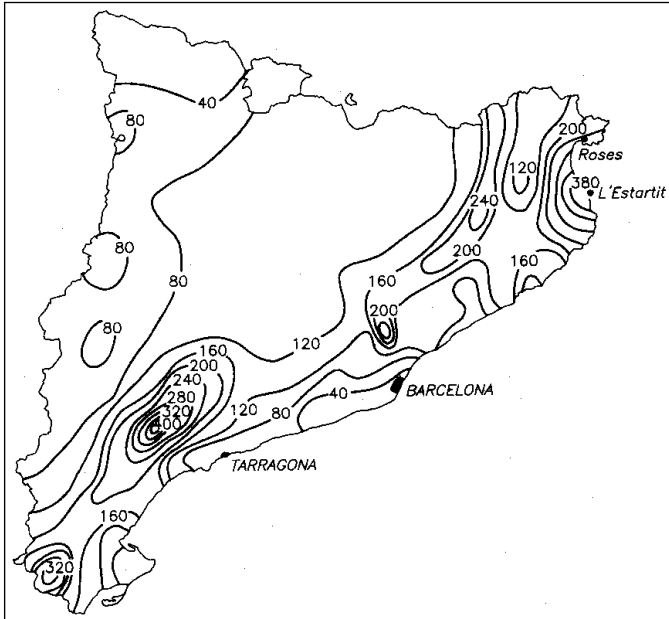


FIGURA 3. Distribució de la pluja caiguda a Catalunya els dies 9 i 10 d'octubre de 1994 (Corominas et al., 1995).

Els afluents del riu Besòs van mostrar un comportament torrencial. Al curs alt van evidenciar una poderosa capacitat erosiva, mentre que al curs baix (prop de la confluència amb el riu Besòs) no hi va haver erosió del llit al·luvial i, en canvi, es va dipositar una fina capa de sorres i graves al damunt de la superfície preexistent. Aquest comportament explica alguns dels desperfectes ocasionats i ha de ser tingut en compte en les actuacions a realitzar en el sistema fluvial.

7.1. *L'erosió fluvial i la protecció dels marges*

El curs alt del riu Tenes discorre pel substrat rocallós. Abans de la crescuda de 1994, al llit hi havia grans blocs rocалlosos transportats en anteriors crescudes i caiguts dels vessants veïns. Alguns dels blocs eren tan grossos que no van ser moguts pel corrent, i donaren així l'oportunitat d'analitzar la capacitat de transport d'aquesta crescuda. Els blocs bellugats es van identificar gràcies a diversos indicadors, com són la disposició imbricada dels blocs; marques d'impacte a les arestes dels blocs i a les cares orientades aigües avall; i presència de peces de fusta, plàstic, maons o asfalt atrapades sota els blocs. La mida dels blocs transportats va ser determinada pel gradient longitudinal del riu. A Riells, després de la crescuda, nombrosos blocs prismàtics de llargada d'entre 1,5 i 2,5 m s'arranjaven amb l'eix major disposat transversalment al flux. El volum dels blocs més grans moguts oscil·lava entre 1,4 i 1,6 m³, en seccions del riu amb gradients longitudinals d'entre 1,5 i $4,8 \times 10^{-2}$. La mida dels blocs transportats disminuïa a mesura que disminuïa el pendent del llit i la velocitat. A la part baixa de la conca, només es van trobar blocs de fins a 0,5 m de llargària (vegeu la taula 1).

TAULA 1. *Mida dels blocs transportats per la crescuda de 1994 a diferents trams del riu Tenes (Buxó, 1997)*

<i>Secció</i>	<i>Gradient (m/m)</i>	<i>Mida dels blocs transportats (m³)</i>
Riells	0,031	1,380
Bigues	0,008	0,806
Santa Eulàlia	0,0055	0,470
Lliça de Vall	0,01-0,006	0,690
Parets	0,006	0,332
Montmeló	0,007	0,276

La conseqüència d'aquesta capacitat de transport va ser la destrucció de les proteccions dels marges. Així, a la conca de la riera de Caldes, els marges protegits amb blocs d'escullera de 0,8 m de llargada i 0,3 m³ de volum, van desaparèixer, del tot o en part, per l'arrossegament dels blocs desenes de metres aigües avall. La travada de l'escullera va ser vençuda per la sapa dels blocs, així com pel desbordament de les aigües i l'erosió del redós.



FIGURA 4. *Escullera de protecció de la riera de Caldes, desmantellada per la crescuda del 10 d'octubre de 1994.*

Aquest esdeveniment va posar en evidència la necessitat d'un disseny de la protecció contra l'erosió de les ribes, en consonància amb la capacitat de transport del riu. La velocitat crítica per la posada en moviment dels blocs utilitzats en l'escullera ha de ser més gran que les velocitats que es poden esperar en les grans crescudes.

7.2. *Comportament torrencial: dinàmica, erosió i sedimentació*

La mobilització del llit al·luvial durant les crescudes és un procés poc conegut. L'erosió i posterior deposició dels sediments al·luvials l'octubre de 1994 va ser observada en diverses rases obertes pocs dies després. Les rases van mostrar que les sorres i graves van ser remogudes fins a fondàries d'1,75 m en trams no influïts per la presència d'estructures. Als trams alts al·luvials, a la major part de les rases, l'erosió va assolir més d'1 m de profunditat. No obstant això, els efectes erosius es van incrementar al voltant de les piles dels ponts. Al pont de Lliçà de Vall, que va col·lapsar, les sabates de fonamentació es trobaven a més de 2,5 m sota la superfície del terreny, mentre que les rases obertes 200 m aigües amunt només mostraven una erosió màxima d'1,35 m.

280

Al tram baix del riu Tenes només es va produir una agradació o, a tot estirar, una erosió lleugera. En aquest tram la càrrega de sediments es va dipositar al damunt de la superfície topogràfica original, fent créixer alguns decímetres la plana al·luvial. Una sedimentació fins i tot més potent es va poder observar a les rieres del sud de Tarragona, com les d'Alforja i Maspujols. Aquestes rieres van construir veritables cons de dejecció. A la riera de Maspujols es van dipositar 2,5 m de sediments sobre la llera, tot colgant els marges i les proteccions amb escullera que s'hi havien construït.

La sedimentació dels trams inferiors té molta importància en les conseqüències de les crescudes. Els sediments dipositats fan créixer la superfície dels llits al·luvials i les aigües desborden dels canals. A les interseccions amb vies de comunicació, els sediments redueixen la secció efectiva dels ponts, tot causant obstruccions i desbordaments.



FIGURA 5. *Rasa excavada al llit al·luvial del riu Tenes. Les sorres i graves de color marronós-groguenc s'han dipositat en davallar la crescuda (sediments remoguts). Les graves fosques (sediments intactes) mostren la profunditat màxima assolida per l'erosió durant la crescuda d'octubre de 1994.*

7.3. *Paper de la plana al·luvial en la reducció de la magnitud de la crescuda*

La reconstrucció de la crescuda del riu Tenes va donar les següents estimacions de cabals (Buxó, 1997):

TAULA 2. *Cabals punta calculats en diferents trams del riu Tenes durant la crescuda del 10 d'octubre de 1994*

<i>Localització del tram</i>	<i>Distància des de Riells (km)</i>	<i>Cabal punta (m³/s)</i>
Riells	0	950
Bigues	4	690
Sta. Eulàlia	10	510
Lliçà de Vall	14,1	550
Parets	16,2	485
Montmeló	17,9	478

La taula 2 mostra que els cabals punta de la crescuda es van reduir de manera significativa aigües avall. L'única excepció és el cabal a Lliçà de Vall, que augmenta en relació amb el de Santa Eulàlia de Ronçana. Això és degut a l'obstrucció del pont de Lliçà de Vall, que va produir la regolfada de les aigües i l'ascens del nivell d'aigües amunt fins que va col·lapsar. El valor del cabal, calculat a partir de les marques del nivell màxim assolit per les aigües, està afectat per l'esmentada obstrucció.

Les marques del nivell de les aigües, juntament amb la cartografia de l'àrea inundada extreta de la interpretació de les fotografies aèries, van permetre l'estimació precisa del volum d'aigua emmagatzemat a la plana al·luvial. Aquest volum va ser segregat de la punta de la crescuda en desbordar les aigües pels marges del riu.

La punta de la crescuda d'octubre de 1994 va durar menys d'una hora. Per aquest motiu, el volum d'aigua emmagatzemat a la plana al·luvial va ser una fracció significativa del volum d'aigua transportat durant la punta de la crescuda. Això es pot observar a la taula 3, en què es representa tant el volum d'aigua transportat tenint en compte la durada de la punta de la crescuda com el volum d'aigua emmagatzemat a la plana al·luvial.

TAULA 3. *Volum d'aigua transportada per la punta de la crescuda de 1994 en diferents seccions del riu Tenes i volum d'aigua emmagatzemada a la plana al·luvial entre seccions consecutives. El volum transportat s'ha calculat considerant cabals punta d'una hora de durada*

<i>Tram</i>	<i>Cabal punta (m³/s)</i>	<i>Volum transportat (m³)</i>	<i>Volum emmagatzemat (m³)</i>
Riells			
Bigues	690	2.484.000	
Sta. Eulàlia	510	1.836.000	958.250
Lliçà de Vall	550	1.980.000	462.000
Parets	485	1.746.000	92.500
Montmeló	478	1.720.800	0 (riu no desbordat)

Els resultats de la taula 3 mostren l'efecte de la plana al·luvial en la reducció del cabal punta de la crescuda. Una conclusió d'aquestes xifres és que la canalització dels marges del riu als trams alts de la conca agreujaria els efectes de futures crescudes aigües avall. En efecte, la canalització, en no permetre l'emmagatzematge transitori de l'aigua a la plana al·luvial, transferiria el cabal punta d'entre 600 i 900 m³/s als trams inferiors, els quals, amb una capacitat de desguàs més baixa, desbordarien.

El mateix efecte cal esperar de l'ocupació de les planes al·luvials per infraestructures com ara els terraplens de carreteres, autopistes o vies de ferrocarril que s'han construït en els darrers anys a les planes del Besòs, del Llobregat i d'altres rius, que actuen com a motes artificials. Els terraplens canvien la secció transversal i redueixen la capacitat d'emmagatzematge de la plana al·luvial. Això produeix un efecte semblant als dics.

8. COMENTARI FINAL

Esperem haver demostrat que el curs d'aigua i la plana d'inundació són part del sistema fluvial. Les aigües que no poden discórrer pel canal del riu desborden per la plana al·luvial, essent aquest un dels mecanismes amortidors de les crescudes que de manera natural experimenten els nostres rius i rieres mediterranis. Aquest aspecte és fonamental per a entendre el funcionament de les crescudes i preparar les corresponents estratègies de protecció.

L'estratègia per a controlar les crescudes fluvials ha de ser, en primer lloc, deixar lliure la plana al·luvial inundable. L'ocupació de la plana té uns avantatges evidents, com ara l'ús d'un terreny pla i disponibilitat d'aigua, però té també uns costos molt elevats, com la necessària protecció davant les crescudes i el disseny d'infraestructures de sanejament. D'altra banda, la funció ambiental de la plana d'inundació (laminació de les crescudes, recàrrega dels aquífers, corredor biològic, espai de lleure) ha de tenir l'adequat reconeixement de la societat. No té sentit que, en el moment en què altres països s'estan replantejant de recuperar el paper multifuncional de les planes al·luvials, aquí se segueixi amb la seva eliminació sistemàtica.

284

9. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BUXÓ, P. (1997). *La crecuda del riu Tenes del 10 d'octubre de 1994*. Escola d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. 83 p. + annexos. [Tesina d'especialitat]
- COROMINAS, J. (1985). «Els riscs naturals». A: *Història natural dels Països Catalans*. Vol. 3. Barcelona: Fundació Enciclopèdia Catalana, p. 225-270.
- COROMINAS, J.; VELASCO, E.; MONTES, J. M. (1995). «Hydro-

- meteorological and geomorphological aspects of extreme floods of autumn 1994 in North-Eastern Spain». A: *Workshop on Hydrometeorology, Impacts and Management of Extreme Floods*. Itàlia: Perugia.
- DIRECCIÓ GENERAL DE MEDIO AMBIENTE (1989). *Guías metodològica para la elaboraci3n de estudios de impacto ambiental de grandes presas*. Madrid: MOPT.
- EMERSON, J. W. (1971). «Channelization: a case study». *Science*, núm. 173, p. 325-326.
- KELLER, E. A. (1976). «Channelization: environmental, geomorphic and engineering aspects». A: COATES, A. D. R. [ed.]. *Geomorphology and Engineering*. Dowden: Hutchinson & Ross, Inc., p. 115-140.
- MASACHS, V. (1958). «Les aigües». A: SOLÉ-SABARÍS, L. [dir.]. *Geografia de Catalunya*. Vol. 1. Aedos, p. 187-222.
- MUJERIEGO, R.; DOLZ, J. (1983). «Descripci3n del comportament del r3o Llobregat en el tramo comprendido de la Corporaci3n Metropolitana de Barcelona, durante la avenida del 8 de novembre de 1982». Universitat Politècnica de Catalunya. 58 p. [Informe inèdit]
- NOVOA, M. (1984). «Precipitaciones y avenidas extraordinarias en Cataluña». A: *Inestabilidad de laderas en el Pirineo*. Universitat Politècnica de Barcelona. p. 1.1.1-1.1.15.
- ORANIAS, R. (2000). «L'aiguat del 10 de juny a Montserrat». A: *VI Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*. Barcelona: ACAM, p. 61-68.
- RAHN, P. H. (1991). «Surface water and flooding». *The Heritage of Engineering Geology; the first hundred years*. GSA Centennial special volume, 3, p. 149-167.
- VERGÉS, R. [dir.] (1994). *Recomanacions sobre mètodes d'estimaci3n d'avingudes màximes*. Junta d'Aigües. Generalitat de Catalunya. 200 p.
- (1997). «Les obres hidràuliques». A: *Les inundacions*, p. 65-87. (Quaderns d'Ecologia Aplicada, 14).



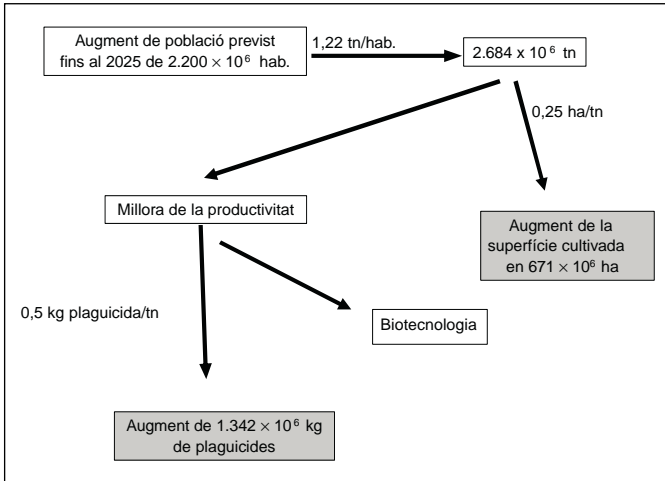
**SOCIETAT CATALANA
DE BIOLOGIA
ELS MICROORGANISMES
COM A BIOPESTICIDES
I BIOFERTILITZANTS
EN AGRICULTURA,
A CÀRREC
D'EMILI MONTESINOS,
DE L'INSTITUT DE TECNOLOGIA
AGROALIMENTÀRIA
DE LA UNIVERSITAT DE GIRONA**

El creixement de la població mundial ha estat espectacular en els darrers anys; actualment s'estima en prop de 6.500 milions d'habitants, i les projeccions per al 2025 són d'una població de 8.500 milions d'habitants. Tanmateix, aquest augment de la població en 2.000 milions d'habitants es produirà principalment en els països en desenvolupament.

La producció agrícola satisfà les necessitats alimentàries humanes directes en productes vegetals o indirectes dels animals destinats al consum humà mitjançant la producció ramadera. Les estimacions mitjanes de producció agrícola actuals són d'1,22 tn per habitant i any, sense tenir en compte els grans desequilibris, i per tant es necessitarà una producció agrícola addicional de 2.440 milions de tn. La producció agrícola mundial haurà d'augmentar especialment en els països no desenvolupats que tenen una capacitat actualment de producció de dues o tres vegades inferior a la dels països desenvolupats.

Aquest augment de la producció, òbviament no hauria d'anar lligat a un increment de la superfície cultivable a costa dels boscos, i per tant es preveu que s'hauria d'assolir en part mitjançant un increment de la productivitat dels conreus (vegeu la figura 1). Això podria aconseguir-se limitant les pèrdues degudes a agents biòtics (malalties, plagues, «males herbes») que en terme mitjà són del 38% de la producció potencial (vegeu la figura 2) o satisfent més adequadament les necessitats nutricionals i hídriques de les plantes de conreu (Agrios, 1997). Són nombrosos els microorganismes causants de malalties en les plantes (unes 11.000 de descrites), però les més devastadores són causades per prop de 120 gèneres de fongs, 30 de virus, 22 de nematodes i tan sols 6 de bacteris (vegeu la taula 1). Algunes d'aquestes malalties afecten, a més de la fase de producció, la fase de postcollita (emmagatzematge i comercialització), i principalment les

podridures causades per fongs constitueixen un dels principals problemes de pèrdues i intoxicacions.



289

FIGURA 1. Efecte de l'augment de la població mundial fins al 2025 en l'increment de la producció agrícola. Impacte ambiental de l'augment de la superfície cultivable i de l'ús de plaguicides de síntesi, davant la biotecnologia.

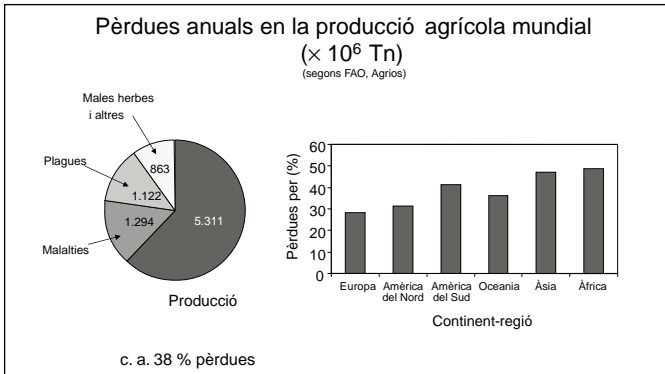


FIGURA 2. Pèrdues en la producció agrícola mundial com a conseqüència de factors biòtics deguts a plagues, malalties i males herbes.

TAULA 1. *Principals agents biòtics causants de malalties en les plantes*

<i>Tipus</i>	<i>Nombre de gèneres</i>	<i>Nombre de malalties</i>
Viroides	—	20
Virus	30	700
Mol·licuts	2	15
Bacteris	6	100
Fongs	120	10.000
Protozous flagelats	1	2
Nematodes	22	100

Al llarg de la història de la humanitat han estat nombroses les malalties responsables de grans davallades econòmiques, així com els períodes de fam i destrucció de paratges d'interès en diferents cultures. Es poden citar com a rellevants la seca tardana de la patatera (*Phytophthora infestans*), que ocasionà l'època de fam a Irlanda (1845-1846); la seca de l'arròs (*Pyricularia oryzae*), causant de la fam a Bengala (1943); el míldiu de la vinya (*Plasmopara viticola*) a Europa (1840-1880); la grafiosi dels oms (*Ceratocystis ulmi*) des de 1930, les bacteriosis dels fruiters (*Erwinia amylovora* des de 1870) i els cítrics (*Xanthomonas arboricola* pv. *citri*), i les virosis dels cítrics (tristesa a partir dels anys seixanta) i motejat de la tomaquera (TSWV) (1980 en endavant), per posar-ne alguns exemples.

Les noves tecnologies productives, especialment en conreus intensius protegits o en hivernacle, permeten controlar els factors climàtics i meteorològics adversos (gelades, pedregades, sequeres, i altres) als quals està sotmesa l'agricultura tradicional, i minimitzar extensivament l'impacte, encara que aquest augmenti localment. També en molts casos permet un ús més eficient dels recursos hídrics, fertilitzants i plaguicides. Però la disminució de les pèrdues degudes a plagues, malalties i males herbes està actualment fonamentada en l'ús de tot un arsenal de productes químics plaguicides, com insecticides, acaricides, rodenticides, mol·lusquicides, microbicides, her-

bicides i altres substàncies químiques, que poden agreujar la ja malmesa salut del nostre planeta. El consum de plaguicides mundial s'estimava el 1990 (any per al qual hi ha dades de la major part dels països) en 3.000 milions de quilograms, dels quals 2.400 milions són consumits pels EUA, el Canadà i Europa (Agrios, 1997).

L'impacte ambiental negatiu dels plaguicides químics es deu no sols a l'ecotoxicitat i efectes no-diana de moltes matèries actives, sinó principalment al sistema d'aplicació que, a causa del baix valor afegit dels individus (plantes), es realitza per polvorització, atomització o fumigació, i per tant amb un gran impacte ambiental. Conseqüentment, en el camp de la protecció de conreus, malgrat que no es pot prescindir de molts d'aquests productes, cal fer-ne un ús racional i restringir el nombre de matèries actives a les que siguin realment imprescindibles, més selectives, menys tòxiques, i tinguin menys impacte ambiental (Ragsdale i Sisler, 1994). La nova normativa per al registre de productes fitosanitaris a la Unió Europea que estableix la Directiva 91/414/CEE preveu una reducció per a l'any 2008 de 939 a menys de 400 substàncies actives, i el requeriment de la presentació d'un dossier molt extens que prevegi estudis toxicològics en mamífers i ecotoxicològics, de traçabilitat, i d'impacte ambiental. A més, en els països desenvolupats ha sorgit un corrent de sentiment cada cop més fort que prima òbviament en primer lloc la salut del consumidor, però que també valora com s'ha produït l'aliment en termes de respecte vers el medi ambient, i fins i tot l'absència de sobreexplotació de mà d'obra (Hall i Barry, 1995).

En aquest context tenen sentit tot un seguit de nous mètodes de control de plagues i malalties dels conreus basats en els bioplaguicides i en l'aprofitament de processos i interaccions que tenen lloc a la natura, com són la competència, antagonisme i hiperparasitisme vers els patògens i plagues

(Chet, 1993). A més, seguint el mateix principi, processos ben coneguts biològicament, com la simbiosi i comensalisme que s'estableixen de manera natural entre les plantes i els microorganismes, són la base d'un nou sistema per a millorar l'estat nutricional de les plantes, els biofertilitzants.

LES PLANTES COM A FONT DE MICROORGANISMES BENEFICIOSOS

Les plantes ofereixen un gran ventall d'ambients ben diferenciats que són aprofitats per molts microorganismes que constitueixen la seva microbiota natural. Aquesta microbiota és, quant a espècies microbianes, ben diferent de la microbiota normal dels animals. Així, les arrels immergides en el sòl, constitueixen un entorn molt estable, ric en nutrients provinents dels exsudats de la planta, amb bona disponibilitat d'aigua i protecció d'agents físics adversos, com les temperatures extremes i la radiació solar. La part aèria està sotmesa a nombrosos canvis, tant durant els cicles dia-nit com en els estacionals, i aquests últims afecten l'estat fenològic de la planta (creixement vegetatiu, floració, fructificació, filoctosi, etc.). Certament, cadascun dels òrgans de la planta configura un hàbitat diferenciat que és colonitzat per microorganismes de manera específica: rizosfera, filosfera, antosfera, espermosfera, i gemmisfera. A més, els microorganismes han desenvolupat diverses estratègies per a adaptar-se a les plantes, incloent interaccions tan beneficioses per a la planta com deletèries.

Les interaccions beneficioses tenen lloc per bacteris simbiotes o lliures i per un tipus de fongs altament especialitzats, les micorizes (Cook, 1983, 1993). Les interaccions patogèniques o deletèries són degudes a viroides, virus, bacteris i fongs, i causen malalties infeccioses que són específiques del regne vegetal.

Si bé les poblacions de microorganismes que interactuen amb les plantes poden assolir nivells molt elevats, es calcula que només entre un 1-10% de les espècies, sobretot bacterianes, és cultivable amb els mètodes de què actualment disposem. Tanmateix, sols aquells microorganismes que són cultivables amb les tècniques de què avui disposem ofereixen expectatives per a ésser utilitzats com a bioplaguicides o biofertilitzants, perquè finalment s'hauran de produir en massa per fermentació, per a ésser utilitzats comercialment.

Fa anys, el nostre grup de recerca es va plantejar un projecte a llarg termini consistent a aïllar i constituir una extensa col·lecció de milers de soques de bacteris integrants de la microbiota normal de diverses espècies vegetals en diferents ecosistemes i ambients arreu de Catalunya. L'objectiu consistia a estudiar el potencial d'algunes soques en el control biològic de malalties d'importància econòmica (biofungicides) i com a promotors del creixement de plantes de viver (biofertilitzants).

293

ELS BIOFUNCICIDES

El camp d'aplicació on està tenint més èxit l'ús de microorganismes com a biofungicides (Chet, 1993) és el de la postcollita de fruita i hortalisses, i especialment en la fase d'emmagatzematge i comercialització. Tot i aplicar-hi tecnologies modernes, com la frigoconservació, l'atmosfera modificada i el tractament amb fungicides, s'estimen pèrdues mitjanes del 10% degudes a podridures (Snowdon, 1991; Eckert i Ogawa, 1988). Aquestes podridures són causades per diverses espècies de fongs del gènere *Penicillium* en pomes, peres i cítrics, i per *Monilinia* i *Rhizopus* en préssec, nectarina i albercoc. A més, la progressiva implantació dels sistemes de producció integrada tendeix a eliminar els tractaments de postcollita (Gullino i Kuijpers, 1994).

Així, l'objectiu és minimitzar o eliminar els tractaments amb fungicides de síntesi pels problemes sanitaris i ambientals que presenten com a conseqüència de la presència de residus en la fruita i de la dificultat en l'eliminació dels efluents de les centrals de frigoconservació. Una alternativa o complement a l'ús de productes químics per al control de podridures és el control biològic utilitzant bacteris, llevats i fongs que formen part de la microbiota normal de la fruita (Wilson i Wisniewski, 1989). Diverses espècies de bacteris, com *Pseudomonas syringae*, *Pseudomonas cepacia*, *Bacillus subtilis*, *Enterobacter* spp., *Pantoea agglomerans* i *Pseudomonas fluorescens* han estat objecte de nombrosos estudis en conservació de poma, pera, préssec, kiwi i cítrics. També diversos llevats del gènere *Candida*, com *C. oleophila* i *C. sake*, o del gènere *Pichia*, com *P. guilliermondi* són utilitzats sobretot per al control de podridures fúngiques en fruita dolça de llavor (Montesinos *et al.*, 2000; Nunes *et al.*, 2002). Els mecanismes d'acció són molt diversos: en uns casos actuen directament sobre el patògen mitjançant fenòmens d'antibiosi (bacteriocines, enzims) o d'hiperparasitisme, i en d'altres indirectament per exclusió competitiva (colonització més eficient de les ferides o punts d'entrada del patògen o competència per als nutrients).

A partir de la nostra col·lecció, una soca, l'EPS125 de *Pantoea agglomerans*, s'ha mostrat molt eficient en el control de podridures fúngiques de poma, pera, préssec, nectarina i albercoc en postcollita (Montesinos *et al.*, 2001; A. Bonaterra *et al.*, 2002), amb una eficàcia comparable a la dels fungicides químics (vegeu la figura 3). El mecanisme d'acció és senzill, no produeix antibiòtics, colonitza les ferides en els fruits creant una barrera, i interacciona directament amb les espores dels fongs, de manera que impedeix que germinin i, per tant, les infeccions. El biofungicida ha superat els estudis toxicològics i es pot produir industrialment per fermentació i ser formulat per a ús comercial.

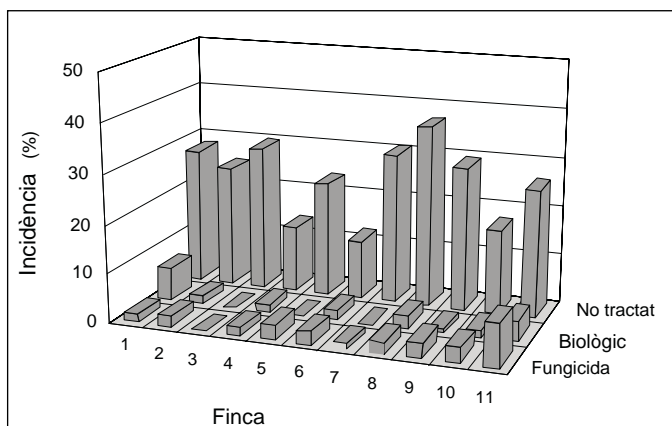


FIGURA 3. Efecte del tractament amb el biofungicida *Pantoea agglomerans* EPS125 en el control de la podridura blava en mostres de poma Golden de diferents finques comercials de Girona, en comparació amb una fungicida de síntesi i un control no tractat.

ELS BIOFERTILITZANTS

Diversos tipus de microorganismes poden interaccionar amb les plantes, de manera que obtenen un benefici mutu. Aquestes interaccions beneficioses tenen lloc principalment amb el sistema radical, la rizosfera, i són dutes a terme per bacteris simbiòtics o lliures, i per un tipus de fongs altament especialitzats, les micoritzes (Lynch, 1990).

Les micoritzes són associacions entre fongs i plantes que s'estableixen a través de les arrels, especialment importants en plantes llenyoses forestals i ornamentals. Les principals són les ectomicoritzes dels gèneres *Laccaria*, *Hebeloma* i *Lactarius*, que són cultivables, i les endomicoritzes sobretot les vesiculoarbusculars (VAM), com *Glomus mossae*, que no són cultivables en medis de cultiu de laboratori i presenten un ampli rang de plantes hoste.

Un altre grup de microorganismes beneficiosos són els rizobacteris noduladors d'arrels, que produeixen tumoracions benignes en plantes lleguminoses, principalment diversos biovars de *Rhizobium* i *Bradyrhizobium* que presenten l'inconvenient que són altament específics de planta hoste, encara que algunes soques, com la NGR234 i USDA257, són d'ampli rang d'hoste i estan essent utilitzades a la pràctica. Tanmateix, el problema principal dels rizobacteris i de les micorizes rau en l'elevada especificitat d'hoste en la majoria dels casos.

Els bacteris promotors del creixement (PGPB) són bacteris no simbiotes principalment dels gèneres *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* i *Serratia*, habitants molt ben adaptats a la rizosfera (Kloepper, 1992).

Els biofertilitzants tenen molts camps d'aplicació en agricultura, especialment en sistemes de producció intensiva com horticòles i vivers, però també en processos de reforestació, bioremediació i aprofitament de sòls pobres. Nosaltres estem desenvolupant biofertilitzants per a millorar la producció de planta de viver. La producció de planta de viver té actualment un fort desenvolupament, especialment en plantes llenyoses, com espècies de *Prunus*, que s'utilitzen com a portaempelts de fruiters, però també en producció de pomes, pereres, nogueres, oliveres, vinya i fins i tot monocotiledònies, com el plataner o plantes ornamentals, i horticòles per a trasplantament. En molts casos es tendeix a l'obtenció de plàntules mitjançant tècniques de multiplicació *in vitro*, que permet el sanejament i la producció de material genèticament uniforme. Durant les fases avançades del cultiu *in vitro* s'indueix l'arrelament, i posteriorment les plàntules són trasplantades i aclimatades en condicions ambientals canviants i, un cop adquirida la grandària adequada, comercialitzades. Malauradament, durant la fase d'aclimatació i tras-

plantament es produeixen nombroses pèrdues o creixement lent deguts a un insuficient desenvolupament del sistema radical. Aquests problemes es resolen mitjançant la fertilització adequada, l'aplicació de fitohormones per a incrementar el desenvolupament radical, i l'ús de fungicides per al control de patògens presents en el sòl. Ara bé, aquests problemes també poden ser controlats mitjançant tècniques menys agressives, com aplicar bacteris promotors de creixement a les arrels (Brown, 1974).

Els bacteris promotors del creixement (PGPB) han estat usats en conreus hortícoles en hivernacle i al camp per a incrementar la producció o per a millorar la tolerància a l'estrès i a malalties en conreus herbacis del tipus patata, mongetera, soja, tomaquera, colza, cogombre, rave, mill i blat. Hi ha menys casos descrits en plantes llenyoses i sols en pomera i vern. L'efecte de promoció del creixement depèn de la soca de bacteri i ha estat atribuït segons els casos a la producció d'hormones fitoreguladores com àcid 3-indolacètic, giberilines i citoquinines. En algunes soques s'ha demostrat un efecte d'estimulació de l'activitat metabòlica de les arrels induïda per components de la superfície de la cèl·lula bacteriana, acceleració de la fixació de nitrogen o solubilització de fosfats en la rizosfera (Dart, 1986). En altres casos, l'efecte beneficiós es deu a la protecció de les arrels davant de bacteris i fongs patògens o inhibidors (Schippers *et al.*, 1987). Aquesta protecció davant de patògens ha estat relacionada indirectament amb la competència per nutrients i ferro, o més directament amb la síntesi de compostos amb activitat antibiòtica o fins i tot cianhídrica (Handelsman, Stabb, 1996). En altres casos s'ha demostrat un efecte estimulador de la resistència sistèmica de la planta a patògens.

En el nostre laboratori hem aïllat soques de bacteris naturals, especialment *Pseudomonas fluorescens* i *Pantoea agglomerans*, que són molt eficients en l'estimulació del crei-

xement de diverses plantes (vegeu la figura 4), com diverses espècies del gènere *Prunus* (prunera, híbrids d'ametller per presseguer, etc.) i plataner. Aquestes soques augmenten la supervivència durant les fases de multiplicació *in vitro* o trasplantament, i controlen malalties d'arrel causades per fongs i nematodes.

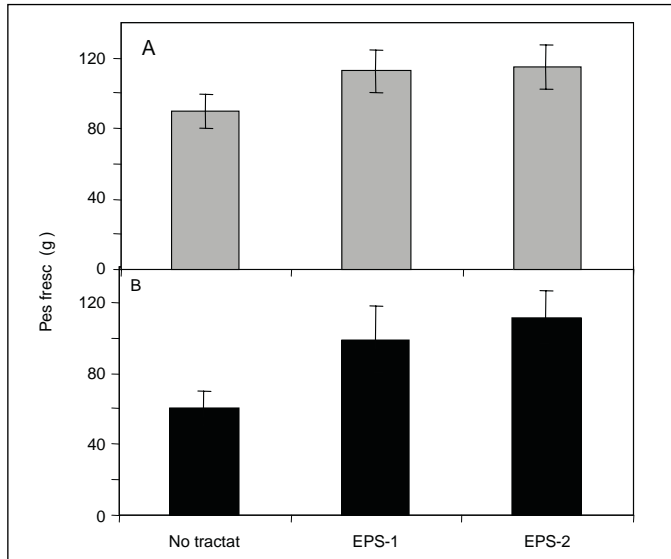


FIGURA 4. Efecte del tractament amb dues soques de bacteris promotors de creixement en el desenvolupament de la part aèria de portaempells de prunera Marianna (a) i híbrid de presseguer x ametller GF677 (b) des de la fase d'aclimatació fins a la lignificació en un viver comercial.

TRETS DESITJABLES I LIMITACIONS

Previ al desenvolupament comercial, un agent de biocontrol o biofertilitzant microbià, un cop s'ha demostrat la seva efectivitat en assajos pilot, ha de superar tot un seguit d'estudis

conduents a demostrar que no és fitopatogen i a garantir la seva innocuïtat toxicològica especialment en mamífers, aptitud per a ésser produït per fermentació en massa, i facilitat de formulació que permeti una adequada conservació en un format compatible comercialment.

Evidentment és imprescindible que el biofungicida o biofertilitzant no sigui patogen de cap planta, especialment les de conreu. Encara que resulti obvi, aquest és un requisit especialment important per les conseqüències que podria tenir en ésser utilitzat en la pràctica agrícola. En el cas dels bacteris, la presència de reacció d'hipersensibilitat en solanàcies n'és un indicador, encara que convé la confirmació de l'absència dels gens *hrp*, que avui es pot realitzar de manera relativament senzilla i ràpida mitjançant la tècnica de la reacció en cadena de la polimerasa (PCR).

Els estudis toxicològics s'han de portar a terme per garantir la salut del consumidor, encara que en alguns casos en què la identificació del microorganisme indica l'absència d'historial clínic o veterinari, aquests poden ser menys exhaustius. Els principals estudis que cal realitzar són la toxicitat aguda per via oral en rata a fi de determinar la dosi letal mitjana (DL_{50}) i la dosi letal límit (DL_{11}). En el cas de bacteris, és convenient que sigui superior a 100.000 milions UFC/kg del pes de l'animal. Altres proves que s'efectuen, sobretot per garantir la innocuïtat en l'aplicador, són la irritació dèrmica i ocular, i per inhalació, que han de ser negatives. En molts casos, en funció dels resultats anteriors cal aplicar el test de Magnusson i Klingman d'hipersensibilitat retardada per contacte en conill porquí.

L'aptitud per a la producció industrial és decisiva a l'hora de valorar la viabilitat de la comercialització. En general, i depenent de si el microorganisme és un bacteri, llevat o fong, s'empren mètodes de fermentació sòlida o líquida, basats en els avenços d'aquesta tecnologia en els camps far-

macològic i alimentari (Glazer i Nikaido, 1995). Els bacteris i llevats solen produir-se en fermentació líquida utilitzant bioreactors de tipus CSTR, mentre que els fongs es fermenten millor en sòlid. Sigui quin sigui el mètode emprat, al final del procés el rendiment ha de ser elevat, i en molts casos la biomassa (cèl·lules) s'ha de concentrar per filtració o centrifugació. Un altre aspecte important és que els medis de cultiu utilitzats han de ser relativament de baix cost, i en general es fan servir melasses, peptones o hidrolitzats de proteïnes, extractes de llevat, etc. per a ús industrial.

La conservació és també un requisit imprescindible per a garantir una bona distribució comercial del producte i emmagatzematge, però sempre es tendeix a minimitzar el cost (Jones, 1993). Aquesta pot ser en fase líquida sota refrigeració, per congelació en presència de criopreservants, o per deshidratació. La liofilització és un mètode de deshidratació que consisteix en la sublimació de l'aigua (pas de l'estat sòlid a vapor) i és el mètode més bo, però té un cost molt elevat, encara que permet recuperar totalment després de diversos mesos l'activitat del microorganisme un cop rehidratat. Industrialment, però, els mètodes de deshidratació mitjançant atomització (*spray-drying*) o llit fluïditzat són més ràpids i econòmics, encara que disminueixen la viabilitat i vida útil del microorganisme.

Independentment del mètode utilitzat per a concentrar i conservar el microorganisme, el producte obtingut s'ha de formular afegint substàncies que milloren la supervivència cel·lular, faciliten l'aplicació i estableixen el producte. Aquesta millora de la formulació es pot fer abans o després del processament per conservació. Els additius poden consistir en agents humectants, determinats nutrients, dispersants i altres substàncies químiques que actuen com a protectors de la radiació UV o osmoprotectors. En molts casos, aquesta tecnologia pot ser similar a la utilitzada en la formulació de productes fitosanitaris o farmacològics.

La situació actual dels bioplaguicides i biofertilitzants és molt complexa perquè, en la pràctica, en la seva implantació intervenen tant factors de tipus legal (procediments per a autorització i registre) com d'eficàcia davant els plaguicides de síntesi, o de percepció social. Si hem de jutjar per l'elevat nombre de grups de recerca que tenen com a línia d'investigació principal els bioplaguicides, del gran volum de publicacions científiques i patents (més de quatre-cents) en aquest camp, i de les restriccions a l'ús de plaguicides de síntesi (especialment a Europa amb la Directiva 91/214CEE), cal esperar un gran desenvolupament d'aquesta tecnologia i la seva implementació pràctica en el futur immediat. Tanmateix, això no és així perquè mentre als EUA hi ha registrats oficialment uns trenta-dos bioplaguicides, el registre oficial a la Unió Europea inclou actualment sols dues sol·licituds informades positivament del total de tan sols uns set previs a la directiva. A la taula 2 es presenten alguns microorganismes i productes derivats que es comercialitzen depenent del país.

Certament, el camp dels bioplaguicides es mou entre actituds contradictòries. D'una banda, l'agricultura necessita, per a satisfer la demanda quantitativa, qualitativa i extemporània de productes vegetals, una tecnologia moderna de plaguicides cada cop més naturals amb un ús racional, minimitzat i amb el menor impacte ambiental possible. D'altra banda, la percepció del consumidor vers l'agricultura no és precisament positiva, i és conseqüència de l'impacte negatiu que sovint es té sobre els recursos naturals, especialment els forestals, i dels lamentables esdeveniments com l'encefalopatia espongiforme bovina (BSE), les dioxines, els residus de plaguicides en productes agrícoles i ramaders, a què els consumidors de la Unió Europea estem acostumats.

TAULA 2. Alguns microorganismes i productes comercialitzats en diversos països per al control de malalties fúngiques o bacterianes, o com a biofertilitzants promotors del creixement en plantes

Producte	Nom comercial	Patògen diana
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	Rotstop	<i>Fomes annuosus</i>
<i>Gliocladium</i> sp.	Glomix	Patògens del sòl
<i>Streptomyces griseoviridis</i>	Mycostop	<i>Fusarium</i> spp
<i>Bacillus subtilis</i>	Kodiak, altres	Patògens del sòl, PGPRs
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	diversos	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
<i>Ampelomyces quisqualis</i>	AQ10	Míldiu
<i>Candida oleophila</i>	Aspire	Postcollita
<i>Chaetomium globosum</i>	—	diversos
<i>Phytium oligandrum</i>	Polygandron	<i>P. ultimum</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	Fusaclean	<i>Fusarium oxysporum</i>
<i>Trichoderma viride</i>	diversos	Diversos fongs del sòl
<i>T. polysporum</i> , <i>T. harzianum</i>		
<i>Verticillium dahliae</i>		
<i>Candida sake</i>	—	Postcollita
<i>Patoea agglomerans</i>	—	Postcollita, <i>E. amylovora</i>
<i>Pseudomonas syringae</i>	BioSave	Podridures postcollita
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Blighban	Antigelades, <i>E. amylovora</i>
<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	Cedomon	Fongs patògens de cereals

Sens dubte, l'ús de productes plaguicides més «naturals» basats en microorganismes pot ser una alternativa o complement en molts casos als productes de síntesi. Però, un cop més, la percepció social vers els microorganismes és contradictòria i molt dependent de com es presenta en els mitjans de comunicació. Valgui com a exemple la tècnica publicitària d'algunes indústries alimentàries quan ens presenten els bacteris «bons» com els ferments (bioiogurt, formatge, pa, vi, cervesa) o d'indústries de productes de neteja domèstica davant els bacteris «dolents» que cal eliminar (desinfectants antibacteris). Malauradament, els darrers esdeveniments de terrorisme biològic a l'entorn de l'àntrax als EUA no han contribuït precisament a valorar objectivament el gran potencial que poden tenir els microorganismes beneficiosos

per a les plantes en el futur per a potenciar una agricultura sostenible.

REFERÈNCIES

- AGRIOS, N. G. (1997). *Plant Pathology*. Academic Press.
- BOLAND, G. J.; KUYKENDALL, L. D. [ed.]. (1998). *Plant-microbe interactions and biological control*. Marcel Dekker, Inc.
- BONATERRA, A.; MARI, M.; CASALINI, L.; MONTESINOS, E. (2002). «Biological control of *Monilinia laxa* and *Rhizopus stolonifer* in postharvest of stone fruit by *Pantoea agglomerans* EPS125 and putative mechanisms of antagonism». *International Journal of Food Microbiology*. [En premsa]
- BRITO ÁLVAREZ, M. A.; GAGNÉ, S.; ANTOUN, H. (1995). «Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria». *Appl. Environ. Microbiol.*, núm. 61, p. 194-199.
- BROWN, M. E. (1974). «Seed and root bacterization». *Annual Review of Phytopathology*, núm. 12, p. 181-197.
- CHET, I. [ed.]. (1993). *Biotechnology in plant disease control*. Wiley-Liss.
- COOK, R. J. (1993). «Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens». *Annual Review of Phytopathology*, núm. 31, p. 53-80.
- COOK, R. J.; BAKER, K. F. (1983). *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. Minnesota: APS, St. Paul. p. 539.
- DART, P. J. (1986). «Nitrogen fixation associated with non-legumes in agriculture». *Plant and Soil*, núm. 90, p. 303-334.
- ECKERT, J. W.; OGAWA, J. M. (1988). «The chemical control of

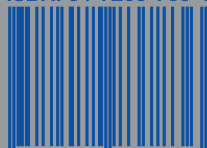
- postharvest diseases. Deciduous fruits, berries, vegetables and root/tuber crops». *Annual Review of Phytopathology*, núm. 26, p. 433-469.
- GLAZER, A. N.; NIKAIKO, H. (1995). *Microbial biotechnology*. W. H. Freeman Co.
- GULLINO, M. L.; KUIJPERS, L. A. M. (1994). «Social and political implications of managing plant diseases with restricted fungicides in Europe». *Annual Review of Phytopathology*, núm. 32, p. 559-579.
- GUTTERSON, N. (1990). «Microbial fungicides: Recent approaches to elucidating mechanisms». *Critical Reviews in Biotechnology*, núm. 10, p. 69-91.
- HALL, F. R.; BARRY, J. W. [ed.] (1995). *Biorational pest control agents*. American Chemical Society.
- HANDELSMAN, J.; STABB, K. (1996). «Biocontrol of soilborne plant pathogens». *Plant Cell*, núm. 8, p. 1855-1869.
- JONES, D. G. [ed.] (1993). *Exploitation of microorganisms*. Chapman Hall.
- KLOEPPER, J. W. (1992). «Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents». A: BLAINE METTING, F. Jr. [ed.]. *Soil microbial ecology*. Nova York: Marcel Dekker, Inc., p. 255-274.
- LYNCH, J. M. [ed.] (1990). *The rhizosphere*. Chichester: John Wiley and Sons.
- MONTESINOS, E.; BONATERRA, A. (1996). «Dose-response models in biological control of plant pathogens: an empirical verification». *Phytopathology*, núm. 86, p. 464-472.
- MONTESINOS, E.; BONATERRA, A.; FRANCÉS, J.; BADOSA, E.; CABREFIGA, J. (2001). *Nueva cepa bacteriana biofungicida, procedimiento para su preparación y aplicaciones*. Oficina Española de Patentes y Marcas [Sol·licitud P200101274].
- MONTESINOS, E.; BONATERRA, A.; BADOSA, E.; FRANCÉS, J.; ALEMANY, J.; LLORENTE, I.; MORAGREGA, C. (2002). *Plant-*

- microbe interactions and the new biotechnological methods of plant disease control. International Microbiology.*
- MONTESINOS, E.; MELGAREJO, P.; CAMBRA, M. A.; PINOCHET, J. [ed.] (2000.) *Enfermedades de los frutales de pepita y hueso.* Mundi-Prensa.
- NUNES, C.; USALL, J.; TEIXIDÓ, N.; TORRES, R.; VIÑAS, I. (2002). «Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on apples and pears with the combination of *Candida sake* and *Pantoea agglomerans*». *Journal of Food Protection*, núm. 65, p. 178-184.
- RAGSDALE, N. N.; SISLER, H. D. (1994). «Social and political implications of managing plant diseases with decreased availability of fungicides in the United States». *Annual Review of Phytopathology*, núm. 32, p. 545-557.
- SCHIPPERS, B.; BAKKER, A. W.; BAKKER, P. A. H. M. (1987). «Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices». *Annual Review of Phytopathology*, núm. 25, p. 339-358.
- SNOWDON, A. L. (1991). «A Color Atlas of Post-harvest diseases and disorders of Fruits and Vegetables». A: *General Introduction and Fruits*. Vol. 1. Wolfe Scientific.
- WILSON, C. L.; WISNIEWSKI, M. E. (1989). «Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: an emerging technology». *Annual Review of Phytopathology*, núm. 27, p. 425-441.



 **FUNDACIÓ**
Caixa Sabadell
Pel compromís social

ISBN: 84-7283-783-1



9 788472 837836