

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS
NATURA, ÚS O ABÚS? (2018-2019)

El sòl

V. RAMON VALLEJO, PERE CASALS, JOSEP LASCURAIN, NÚRIA ROCA,
JOAN ROMANYÀ, PERE ROVIRA, M^a TERESA SAURAS-YERA

© 2019, Institut d'Estudis Catalans
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

© Dels autors dels articles

Article rebut el juliol de 2018

Text revisat lingüísticament per Roser Carol i Àlvar Valls

ISBN: 978-84-9965-457-7

DOI: 10.2436/15.0110.22.9

El sòl

V. Ramon Vallejo;¹ Pere Casals;² Josep Lascrain;³ Núria Roca;¹ Joan Romanyà;⁴ Pere Rovira;² M^a Teresa Sauras-Yera¹

1. Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, Universitat de Barcelona.
2. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC), Solsona.
3. Consultora SGM.
4. Secció de Sanitat Ambiental i Edafologia, Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació. Universitat de Barcelona

Article rebut el juliol de 2018.

Sumari

1. EL QUE SABEM I EL QUE NO SABEM
 - 1.1. El recurs sòl
 - 1.2. Els paisatges edàfics a Catalunya
 - 1.3. L'inventari del recurs a Catalunya
2. ELS PROBLEMES DE LA GESTIÓ DELS SÒLS ALS DARRERS QUARANTA ANYS
 - 2.1. La contaminació dels sòls
 - 2.2. Els canvis d'ús del sòl
 - 2.3. Els incendis forestals
 - 2.4. L'erosió del sòl
3. LES LLEIS DEL SÒL NO PARLEN GAIRE DEL SÒL
 - 3.1. Un exemple paradigmàtic a l'àrea metropolitana de Barcelona: el delta del Llobregat, de zona humida a parc agrari
 - 3.1.1. Les amenaces i les transformacions dels sòls sota la pressió periurbana
 - 3.1.2. Dinàmica de les transformacions
 - 3.1.3. Una mirada al futur

4. LA QUALITAT NATURAL DEL SÒL COM A BASE DE L'AGRICULTURA SOSTENIBLE. LIMITACIONS I PERSPECTIVES.
 - 4.1. L'agricultura mediterrània
 - 4.2. Agricultura i conservació de sòls
 - 4.3. Quina superfície de sòl productiu ens toca per habitant? Perspectives de conservació del sòl agrícola per a la seguretat alimentària
5. L'IMPACTE DELS INCENDIS FORESTALS. HEM MILLORAT?
6. LA RECUPERACIÓ DELS SÒLS DEGRADATS. PODEM FABRICAR SÒLS?
7. ELS SÒLS I EL CANVI CLIMÀTIC
8. LA PERSPECTIVA INTERNACIONAL. CAP A UNA DIRECTIVA EUROPEA DE PROTECCIÓ DELS SÒLS?

REFERÈNCIES

1. EL QUE SABEM I EL QUE NO SABEM

1.1. *El recurs sòl*

El sòl resulta, primàriament, de la inestabilitat de les roques en contacte amb l'atmosfera: les roques endògenes es formen en unes condicions químiques, de pressió i temperatura molt diferents de les que es troben en contacte amb l'atmosfera. El resultat és la meteorització de la roca i la formació d'un «residu» que constituirà el sòl. El sòl evoluciona lentament i en la seva formació s'incorpora la matèria orgànica, un altre residu procedent de l'activitat dels organismes. Només la part més activa del sòl, la matèria orgànica, té un cicle a l'escala temporal de la vida dels organismes més llargs i dels processos ecològics. La part mineral s'ajusta a cicles més llargs, de mil·lennis, que traspasa sovint diferents condicions climàtiques i tipus d'ecosistemes. La formació del sòl és lenta, però la seva destrucció pot ser molt ràpida (qüestió d'hores en el cas de construccions d'edificis o d'infraestructures). D'aquesta asimetria se'n deriva que els sòls són un recurs no renovable, a l'escala ecològica i humana. L'erosió del sòl és un fenomen natural que en el cas de perturbacions extremes i, sobretot, per activitats humanes directes, pot originar la destrucció accelerada, total o parcial, del sòl i el seu transport i sedimentació en un altre indret. Els processos antròpics de degradació del sòl importants al nostre territori són la pol·lució difusa i concentrada, l'erosió, la compactació, el segellament o la destrucció total per construcció d'infraestructures i la salinització induïda pel reg.

El sòl és la font i el reservori d'aigua i nutrients per a les plantes. En condicions naturals, els nutrients són escassos, amb una disponibilitat variable en l'espai i en el temps, i amb descompensació entre els nutrients essencials. Els elements més abundants a l'escorça terrestre (a partir de la qual es forma primàriament el sòl) no són utilitzables per les plantes (o ho són poc, com el Fe). Per contra, el nutrient més necessari per a les plantes (i per als organismes en general), el N, no es troba a les roques que formen majoritàriament l'escorça, i el P és escàs. Per això, a l'agricultura s'ha d'adobar amb NPK (també amb Ca als sòls àcids). Malgrat les limitacions hídriques i nutricionals, els ecosistemes terrestres, de mitjana, són tres vegades més productius que els marins. Els continents produeixen uns 300 g C/m².any, i els oceans, 100 g C/m².any (3 Mg/ha vs 1 Mg/ha). Les argiles i l'humus del sòl faciliten la retenció i el retorn dels nutrients per a

les plantes. Aquests components també filtren contaminants i patògens, i faciliten la digestió de compostos orgànics diversos a través de l'activitat microbiana.

El sòl conté una gran diversitat d'organismes, de mida molt diferent: bacteris, fongs, protists, nematodes, microartròpodes, miriàpodes, cucs de terra, talps... Aquests organismes són responsables del cicle de la matèria orgànica i dels nutrients, i també de la construcció de l'estructura del sòl. La capacitat estructuradora dels cucs és coneguda d'antic. Charles Darwin va escriure: «La llaurada és una de les més antigues i valuoses invencions de l'home; tanmateix, la terra era llaurada regularment molt abans de l'existència de l'home, i així continua, pels cucs de terra.» Els cucs de terra poden ingerir entre 50 i 1.000 tones de terra per any i per hectàrea. Les tècniques de l'agricultura convencional, tecnificada, substitueixen la fertilitat biològica natural per una fertilitat artificial basada en el treball mecànic i els fertilitzants minerals i els pesticides. L'aprofitament dels beneficis de l'activitat biològica del sòl passa per l'agricultura orgànica i de conservació.



Global Soil Biodiversity Atlas, JRC 2016

FIGURA 1. Exemples d'organismes edàfics. Quadre esquerre (Orgiazzi *et al.*, 2016): a) bacteris; b) fongs; c) protists; d) nematodes; e) col·lèmbols; f) miriàpodes; g) talps. Fotos de la dreta, dalt: rizosfera que constitueix un hàbitat d'una gran activitat microbiana interaccionant amb l'arrel; el fong *Streptomyces*, que va donar origen a l'antibiòtic estreptomicina; baix: terra digerida per un cuc de terra i enriquida amb matèria orgànica que conserva temporalment el motlle intern del cuc.

La vida al sòl està amagada i, d'alguna manera, també oblidada. Els sòls contenen moltes espècies, especialment de microorganismes. S'estima que en un sòl de prat pot haver-hi unes deu mil espècies/m². Aquest és el gran tema desconegut dels sòls, i de la biodiversitat en general, al nostre país i a tot el món. Probablement, els avenços futurs més importants en el coneixement dels sòls es referiran al descobriment de noves espècies i els seus possibles usos biotecnològics.

1.2. Els paisatges edàfics a Catalunya

Les característiques dels sòls deriven de les condicions climàtiques i del substrat geològic, la topografia, l'acció dels organismes —principalment la vegetació i les activitats humanes— i el temps d'acció dels anteriors factors de formació.

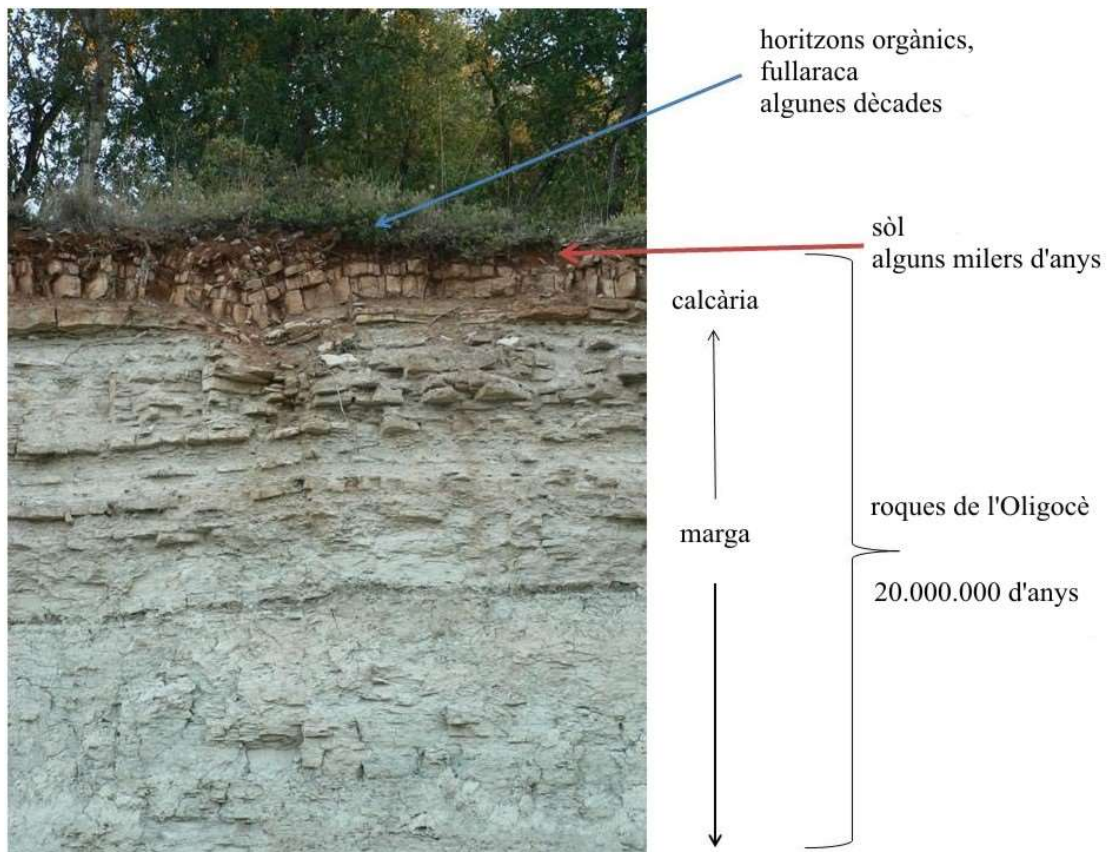


FIGURA 2. Els temps de formació del sòl en comparació amb les roques. Perfil de sòl bru-rogenç a la Panadella (Anoia).

La influència de les activitats humanes en els sòls ha anat augmentant d'una manera exponencial des del Neolític, en paral·lel amb l'augment de la població, de l'expansió de les terres cultivades i de les infraestructures.

El rang de condicions climàtiques de Catalunya inclou des de condicions alpines fins al semiàrid. Les roques són força diverses també, i la topografia, molt variable. Com a conseqüència d'aquesta diversitat dels factors pedogenètics, tenim sòls àcids característics de l'alta muntanya i dels ambients boreals, de condicions temperades humides i, especialment, de clima mediterrani més o menys sec amb sòls neutres i lleugerament bàsics (els més abundants). En condicions topogràfiques i/o litològiques extremes es formen sòls de característiques particulars, com ara els sòls molt fèrtils damunt de roques volcàniques (*andisols*), els sòls salins en maresmes i fondalades de la Depressió Central més occidental, de vegades produïts pel reg, o els sòls guixencs damunt de substrat de guix i clima sec. En aquests dos darrers casos, com en el cas dels sòls molt àcids d'alta muntanya, les condicions químiques i nutricionals dels sòls fan que s'hi desenvolupin comunitats vegetals especialitzades (halòfiles, gipsícoles, acidòfiles).

Pel que fa al factor temps, les glaciacions van escombrar els sòls preexistents. Al nostre país, les glaciacions només van afectar l'alta muntanya; per tant, no hi ha hagut discontinuïtats temporals en la formació dels sòls, tot i que la major part s'han format al llarg del Quaternari. Són, per tant, freqüents els paleosòls i els sòls polifàsics (que inclouen diferents processos pedogenètics o diferents edats), vestigis dels temps geològics anteriors. Els sòls antics es conserven a favor de formacions superficials estables, per exemple en extenses plataformes calcàries carstificades o en terrasses fluvials. A Catalunya trobem, per tant, un mosaic de sòls antics al costat de sòls de formació recent i de característiques ben contrastades. Els sòls rojos o bru-rogençs són ben característics dels països mediterranis i d'altres indrets càlids amb estació seca del món. De vegades es troben perfils de sòls rojos amb diferent grau de rubefacció, que indica diverses fases i intensitat de pedogènesi.

A la *Història Natural dels Països Catalans* (Porta *et al.*, 1985) es pot trobar una descripció detallada dels tipus de sòls més importants a Catalunya.



FIGURA 3. Detall de sòl bru-rogenç a la Panadella (Anoia), del mateix tall de la figura 2. Hi destaca el contrast de color entre el sòl, molt evolucionat, i el substrat litològic, degut als òxids de ferro (hematites), així com el fet que el sòl no conté pràcticament carbonats a la terra fina, mentre que la calcària subjacent (roca mare) en té més del 95 %.

1.3. *L'inventari del recurs a Catalunya*

Els mapes de sòls presenten la distribució dels tipus de sòls i de les seves propietats en el territori. El referent internacional és la cartografia de sòls del Departament d'Agricultura dels EUA. Es van començar a publicar dades regionalitzades de sòls, per comtats, a partir de 1899. Arran de les tempestes de pols (*Dust Bowl*) a les Grans Planes de Nord Amèrica de 1932, l'any 1935 es va crear el Soil Conservation Service (a partir de 1994, Natural Resources Conservation Service), que va donar un impuls a la cartografia i a les accions de conservació dels sòls. De la cartografia bàsica dels sòls, a escala entre 1:12.000 i 1:63.360, se'n deriven mapes temàtics amb orientacions d'usos per als diferents tipus de sòls, com ara de qualitat agronòmica, de propietats hidrològiques i d'aplicacions per a la conservació del medi natural. És, per tant, una eina bàsica en el planejament territorial.

Fins fa pocs anys, la cartografia de sòls disponible a Catalunya era dispersa i heterogènia (vegeu *Porta et al.*, 1985 per a una revisió històrica de la cartografia de sòls

al nostre país). Actualment, l'Institut Geològic de Catalunya està realitzant el Mapa de Sòls a escala 1:25.000 (304 fulls), que pot servir per a la planificació del territori. Des del 2009 s'han publicat 26 fulls (<<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Cartografia-de-sols/GT-IV.-Mapa-de-sols-1-25.000>>).

2. ELS PROBLEMES DE LA GESTIÓ DELS SÒLS ALS DARRERS QUARANTA ANYS

2.1. *La contaminació dels sòls*

El desenvolupament industrial i tecnològic ha afavorit el desequilibri entre les entrades i sortides de matèria i energia en els ecosistemes naturals i s'ha ocasionat una alteració de les característiques físiques, químiques i biològiques del medi ambient. Això pot tenir conseqüències desfavorables per als éssers humans i altres organismes. Es consideren sòls normals o nets aquells que tenen la composició, l'estructura, l'estat funcional i, en definitiva, la qualitat que els pertoca segons els factors formadors que els originen. En aquest cas, el contingut dels seus components mostra els anomenats valors normals o basals. Cal recordar que els sòls poden presentar valors anòmals d'origen natural. Aquestes anomalies geoquímiques s'originen per la presència elevada de certs elements en alguns minerals de la roca mare. En poden ser exemples els sòls propers a jaciments minerals en què, d'una manera natural, els sòls ja contenen valors més alts de metalls pesants. Encara que també poden ocasionar problemes de toxicitat, no es consideren sòl contaminat, ja que el seu origen és natural.

L'Agència Europea del Medi Ambient (EEA, 2012), el 2007 va estimar que el nombre de llocs al territori europeu que tenen o han tingut activitats potencialment contaminants és d'aproximadament tres milions, dels quals aproximadament 250.000 necessiten algun tipus d'actuació. Tot i així, en els darrers anys s'han incrementat els llocs descontaminats, que poden arribar a 80.000.

Entre les causes més freqüents de contaminació es poden destacar les altes concentracions de fertilitzants i productes fitosanitaris en l'agricultura i en l'activitat industrial i energètica, una mala gestió dels residus, o bé accidents en el transport, l'emmagatzematge o la manipulació de productes químics.

Un dels riscos que té l'acumulació de contaminants al sòl apareix quan el contaminant no perd la seva capacitat tòxica i s'emmagatzema al sòl. Davant de qualsevol canvi, aquests contaminants es mobilitzen provocant la degradació de l'entorn. Aquest fet és especialment important en el cas de les molècules orgàniques d'alta persistència i en els metalls pesants. Tots els metalls poden aparèixer en el sòl en formes de baixa activitat o mobilitat relacionats amb compostos poc solubles, com ara els sulfurs, els fosfats o els hidròxids. Però en el sòl poden patir canvis que n'incrementen la biodisponibilitat o la solubilitat en convertir-se, per exemple, en sulfats.

En tractar temes de contaminació es pot diferenciar entre la contaminació del sòl que té l'origen en una font delimitada (contaminació local o puntual) i la contaminació causada pel transport de substàncies contaminants en àmplies zones força allunyades de la seva font o amb una font poc delimitada (contaminació difusa).

Els metalls pesants i els elements traça són una de les causes de contaminació local o puntual en sòls propers a explotacions mineres o en zones urbanes que fins fa pocs anys havien conviscut amb zones industrials. En el cas de sòls industrials, Cu, Pb, Sn i Zn mostren els valors més alts, i en zones urbanes, els sòls superficials es troben enriquits en Pb com a conseqüència de la combustió durant anys de la benzina amb plom.

A Catalunya, els sòls contaminats estan associats principalment a antigues zones industrials, així com a un reciclatge inadequat de fangs de depuració d'aigües residuals o una inadequada gestió de residus (industrials o agrícoles). En els darrers anys, l'èxit en la gestió dels sòls contaminats rau en la prevenció i detecció immediata dels focus de contaminació que es recull en l'Inventari Permanent de Sòls Contaminats a Catalunya. Aquest inventari permet l'establiment de prioritats d'actuació segons el risc associat a cada cas. Tot i així, es continuen produint contaminacions puntuals per accidents en la gestió de productes químics i per abocaments incontrolats i abandonaments d'indústries, tot i que s'ha millorat en el control a les instal·lacions industrials. La preocupació per l'ambient i la qualitat dels aliments ha originat un increment de la presència d'horts urbans d'ús comunitari als espais disponibles dins les grans ciutats o en àrees industrials abandonades amb potencials problemes de contaminació.

Un factor important en la contaminació difusa és l'excés d'ús d'agroquímics com els fertilitzants minerals i els pesticides. Es detecta un increment continuat en el còmput global d'Europa pel que fa a l'ús dels fertilitzants (EEA, 2012). La contaminació per nitrats d'origen agrari és un problema greu de contaminació difusa a les aigües, en especial de les subterrànies, que té un dels orígens en l'ús excessiu de purins als camps.

Tal com assenyala l'informe tècnic elaborat per l'ACA, en data 21 de març de 2016, el mapa d'excés de producció de nitrogen d'origen agrari és molt coincident amb el mapa de masses d'aigua afectades per excés de nitrats. Ara bé, els estats de la UE estan obligats a declarar vulnerables aquells sòls en què el drenatge pugui originar una contaminació per nitrats segons la directiva 91/676/CEE del 12 de desembre de 1991 i la seva transposició a través del RD 261/1996 del 16 de febrer. Alguns punts de força contaminació són els cursos fluvials d'Osona, especialment als rius Gurri i Mèder, dues conques relativament petites i amb una considerable densitat d'activitat agrícola.

2.2. Els canvis d'ús del sòl

Els sòls destinats a l'agricultura (cereals, 40 %; fruita, 15 %; olives, 15 %; altres cultius llenyosos, 12 %; vinyes, 11 %) representen el 35 % del territori amb un total de 834.751 hectàrees (dades del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya de l'any 2015) i estan principalment localitzats a la Depressió Central i a les planes costeres. Tot i així, la superfície ocupada pels conreus disminueix en unes 304.000 ha entre 1993 i 2015, com a conseqüència del despoblament del món rural que, de manera lenta però generalitzada, continua produint-se a Catalunya (<<https://www.idescat.ct/pub/aec/202>>). Aquesta tendència general a l'abandonament de zones agrícoles i la seva transformació a zona boscosa amaga i a vegades justifica el desmunt i rompuda de determinades zones forestals i la seva transformació en pastures o conreus. Les rompudes de terrenys forestals a Catalunya entre els anys 2005 i 2012 donen una mitjana anual d'un es 500 ha (<http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/medi-natural/gestio-forestal/dar_estadistiques_forestals/>). Tot i els beneficis que pot suposar el fet de reduir la propagació de grans incendis o afavorir la biodiversitat, aquestes discontinuïtats en el paisatge forestal, des del punt de vista estrictament edafològic, comporten, en general, una degradació del sòl.

El Pla de Regadius de Catalunya (Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural) preveu una transformació de 1.140 km² de superfície agrícola de secà a regadiu. Atesa la major productivitat dels cultius de regadiu, cal esperar que el C del sòl augmenti a escala local. Això no obstant, en el balanç global els beneficis són clarament inferiors o fins i tot nuls si es tenen en compte els costos ambientals en

unitats de C derivats de la construcció d'infraestructures i les emissions de C causades per la reparcel·lació i aplanament dels camps.

La superfície dedicada a pastures va augmentar en 88.000 ha entre 1993 i 2007; aquests valors cal prendre'ls com a indicatius, ja que, conjuntament amb la transformació real cap a pastures, una part pot ser conseqüència de declaracions de superfícies ja existents fetes per raons fiscals o de subvencions. La majoria de terrenys de conreus abandonats acaben sent colonitzats de manera natural per matollars o bosc, i els que són propers a les grans ciutats o a la costa són absorbits pel creixement urbanístic. El 61 % de la superfície de Catalunya està ocupada per terrenys forestals: prats, matollars, erms naturals i sobretot boscos, els quals representen un 38 % del territori (<<http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/medi-natural/gestio-forestal/>>). Entre 1992 i 1997 es dona un descens de la superfície boscosa com a resultat dels grans incendis de 1994, que van cremar prop de 60.000 ha de coberta arbrada, bàsicament a les comarques de Tarragona i Barcelona. Tanmateix, l'evolució de la superfície arbrada segons els successius inventaris forestals ha anat augmentat o s'ha mantingut aproximadament constant: 1.265.201 ha (1990), 1.541.244 ha (2000), 1.529.054 ha (2016). Les pèrdues d'arbrat provocades pels incendis forestals es compensen habitualment amb l'evolució de matollars o zones agrícoles abandonades a bosc.

La tendència al creixement de la superfície urbanitzada és la més clara de totes les observades. Entre 1992 i 2002, aquest tipus de coberta va experimentar un augment de gairebé 36.000 ha, en detriment d'altres cobertes, bàsicament conreus, matollars, prats i herbassars. Les darreres dades publicades, del 2015, han estimat l'àrea relacionada amb els sòls urbanitzats en 215.469 ha (fig. 4). Els sòls de l'àrea metropolitana de Barcelona i el seu entorn, amb una població al voltant de 4,5 milions d'habitants dins de 150 km², són un bon exemple de l'elevada pressió urbana i industrial.

El canvi en els usos del sòl pot comportar una degradació per pèrdua d'estructura del sòl o compactació, disminució progressiva de la productivitat o, fins i tot, per la pèrdua total de la funció del sòl com pot ser el segellament del sòl ocasionat per la construcció d'infraestructures i edificis. Per tant, els canvis en els usos del sòl estan relacionats amb l'increment del risc d'erosió, l'increment de l'aterrament d'embassaments per erosió dels sòls de les conques de drenatge, el risc d'inundació, la degradació química o la pèrdua de qualitat del sòl. Però també en la pèrdua de biodiversitat, de la capacitat d'emmagatzematge de carboni, de la qualitat de l'aigua per la pèrdua de la funció de transformació, filtratge i emmagatzematge del sòl. La degradació de les terres en clima

sec (que afectaria la Catalunya de clima mediterrani), anomenada desertificació (Conveni de Nacions Unides de Lluita contra la Desertificació), s'espera que empitjori amb el canvi climàtic.

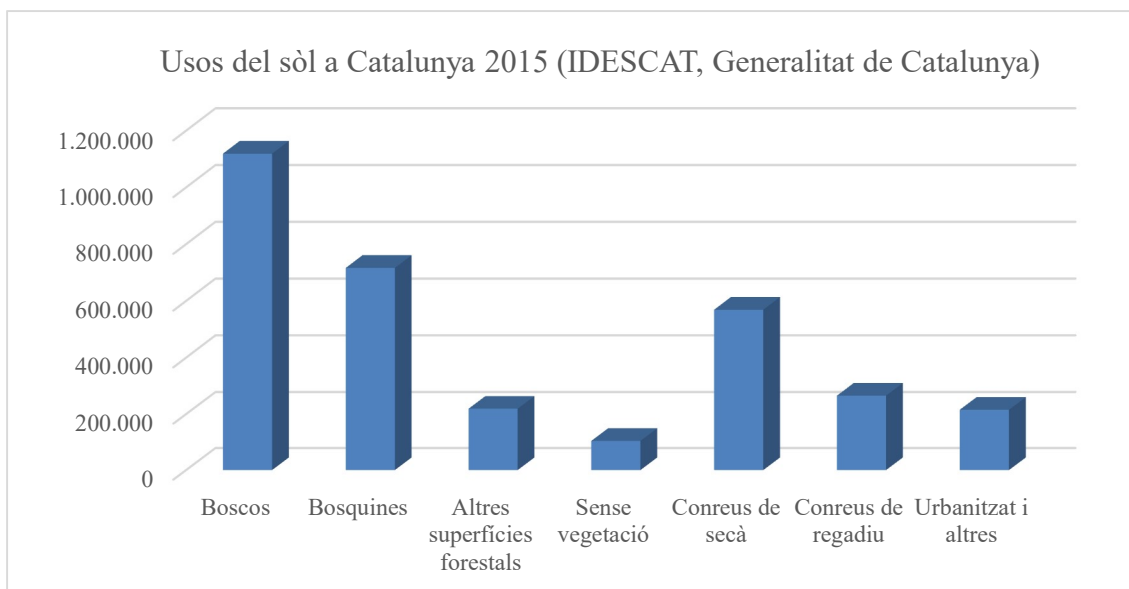


FIGURA 4. Representació dels usos del sòl a Catalunya segons les darreres dades publicades per l'Institut d'Estadística de Catalunya.

2.3. Els incendis forestals

Els incendis forestals han esdevingut un dels principals problemes ambientals dels països mediterranis i d'altres zones del món. Pel que fa als sòls, produeixen pèrdues de nutrients i carboni i poden desencadenar processos d'erosió i degradació. El pic de superfície cremada es va registrar a Catalunya entre finals dels anys setanta i finals dels noranta. Després, les superfícies cremades han disminuït considerablement, a l'igual que a la resta de països de l'Europa mediterrània, excepte Portugal. Sembla que l'augment dels mitjans de prevenció, alerta i extinció han anat donant resultats positius. Tanmateix, les situacions meteorològiques extremes, que són cada cop més freqüents, mantenen un alt risc de desenvolupament d'un gran incendi forestal. A més, les projeccions de canvi climàtic indiquen un agreujament del problema. La legislació prohibeix, en principi, la reconversió dels sòls forestals a urbans després del foc. D'aquesta manera s'intenta evitar la temptació de calar foc al bosc per urbanitzar els terrenys forestals. Les reconversions a

sòls agrícoles es poden autoritzar excepcionalment quan es justifiquen des del punt de vista de la prevenció d'incendis.

2.4. L'erosió del sòl

La pèrdua de sòl per erosió provoca una degradació del recurs pràcticament irreversible a escala ecològica i humana. Les principals causes actuals de l'erosió són l'agricultura de secà als vessants (especialment de llenyoses), els canvis d'usos de sòls, els incendis forestals i les pistes forestals en terrenys accidentats, a més de la circulació tipus trial per senders en zones de fort pendent. Per avaluar la magnitud del problema a Catalunya disposem dels mapes d'erosió elaborats pel Ministeri d'Agricultura a escala 1:50.000 (*Inventario Nacional de Erosión de Suelos*, INES, <http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/inventario-cartografia/inventario-nacional-erosion-suelos/resumen_resultados.aspx>). Aquesta avaluació es basa en l'aplicació d'un model empíric (RUSLE) per estimar l'erosió hídrica. L'objectiu d'aquests mapes és identificar àrees prioritàries per a la lluita contra l'erosió. Els mapes corresponents a les províncies catalanes es van confeccionar a principi dels anys 2000. Per regla general, el risc d'erosió eòlica és baix. Pel que fa a l'erosió hídrica, les superfícies provincials amb risc d'erosió molt greu (> 200 t/ha/any) serien: Tarragona, 42%; Barcelona, 32%; Girona, 30%; Lleida, 22%. El municipi amb les màximes taxes estimades d'erosió hídrica és Castellfollit de la Roca, amb unes 190 t/ha/any, seguit d'alguns altres amb taxes al voltant de les 100 t/ha/any: Sant Sadurní d'Anoia, Sant Climent de Llobregat, Sant Pere de Riudebitlles i Olesa de Montserrat. Quan es poden contrastar les estimacions del model RUSLE amb mesures d'erosió de camp s'observa que, generalment, el model exagera les estimacions. D'altra banda, les pèrdues de sòl en un punt sovint es retenen en el mateix vessant, aigües avall, i per tant no són pèrdues netes a escala del paisatge. Tanmateix, aquest model permet identificar quines zones tenen més risc d'erosió i quins són els processos erosius més actius. Per avaluar els processos erosius reals a escala del paisatge, de conca (millor subconca) hidrogràfica, la millor informació disponible prové del seguiment batimètric del rebliment dels embassaments. Encara que l'embassament de Terradets (Noguera Pallaresa), construït el 1953, ja ha perdut un 35 % de pèrdua de capacitat (Batalla i Vericat, 2011), a la llista d'embassament estudiats per Cobo (2008) s'identifica que l'embassament que presenta una taxa més elevada de pèrdua

de capacitat (equivalent al grau de rebliment) de Catalunya és el de Sant Ponç (Solsonès), amb un 0,94 % de pèrdua anual de capacitat, valor considerat baix. Aquesta dada permet estimar una taxa d'erosió global per a tota la conca de l'embassament (317 km²) de 8,7 tones/ha/any. Aquest valor ja es considera greu per a sòls amb horitzó fèrtil poc profund, prenent en consideració la tolerància a les pèrdues de sòl. Atès que l'afectació de l'erosió és molt variable espacialment i que hi ha zones que pràcticament no s'erosionen, aquesta dada ens indica que hi ha superfícies de la conca que presenten taxes d'erosió molt més elevades i que, per tant, requeririen mesures correctores.

3. LES LLEIS DEL SÒL NO PARLEN GAIRE DEL SÒL

El planejament del territori assigna els usos dels sòls. La qualitat dels sòls al territori és diversa en funció dels factors de formació. Per tant, les aptituds i el potencial productiu natural dels sòls és força variable en el paisatge. Tanmateix, la qualitat del sòl no es considera gaire en el planejament del territori.

Un cas particular és la pèrdua irreversible de sòls molt productius a les àrees periurbanes per fer construccions o infraestructures (segellament del sòl). La urbanització a Europa ha tingut un desenvolupament extraordinari durant les darreres dècades (fig. 5).

El cas de la ciutat de Barcelona és paradigmàtic i representatiu d'altres ciutats antigues d'arreu (molt semblant a València i Alacant per exemple, però també a Atenes i moltes altres). La localització de les ciutats en l'antiguitat prenia en consideració les vies de comunicació, la disponibilitat d'aigua i la proximitat a terres de conreu productives, a banda d'altres factors. Normalment, les edificacions es feien damunt de terres poc productives, sovint en turons (també molts cementiris), i es deixaven les terres bones per a la producció agrícola. Hi havia, per tant, un planejament racional de l'ús dels sòls en funció de les seves aptituds. En temps recents, la gran expansió urbana d'aquestes ciutats antigues s'ha efectuat sense prendre cap consideració de la qualitat productiva dels sòls (que justament eren de bona qualitat al voltant de les ciutats). Qui sap si els trobarem a faltar en el futur! A tall d'anècdota, recentment s'han llogat a l'Incasol 6,5 ha de terres destinades a urbanització per a ús agrícola ecològic prop de Valls. En aquest cas, la crisi econòmica i de la construcció ha facilitat un ús alternatiu del sòl, més sostenible.



Soil Atlas of Europe http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/Soil_Atlas/Index.html

FIGURA 5. Imatge NOAA nocturna que mostra els llums de les ciutats i l'extensió de la urbanització a Europa, on les pressions de segellament del sòl són més grans. U.S.

Font: Air Force Defence Meteorological Satellite.

El segellament del sòl és un problema a Europa i a tot el món. La destrucció d'un recurs no renovable com són els sòls més productius no sembla tolerable al segle XXI, amb una població (i demanda d'aliments) en constant augment. Les «lleis del sòl» paradoxalment no parlen pràcticament del sòl, ni de les seves característiques, ni de la seva productivitat. Tanmateix, la legislació municipal vigent permet la classificació de sòls de protecció especial pel seu valor agrícola. A tall d'exemple, el Pla Territorial de la Garrotxa proposa «protegir els sòls d'especial valor agrícola». Dins aquest marc, el Pla d'Ordenació Urbanística Municipal de Tortellà qualifica, dins el concepte de sòls de protecció especial, no urbanitzables, els sòls d'alt valor agrícola (i de connexió) i els defineix com a «terrenys edafològicament valuosos». En un àmbit supramunicipal, tenim l'exemple paradigmàtic del Parc Agrari del Baix Llobregat que comentem més avall. Per tant, els instruments legislatius actuals permeten incorporar la qualitat del sòl com a criteri d'assignació dels usos i donar prioritat a la conservació dels sòls més productius. Només es tracta de generalitzar l'ús d'aquests instruments.

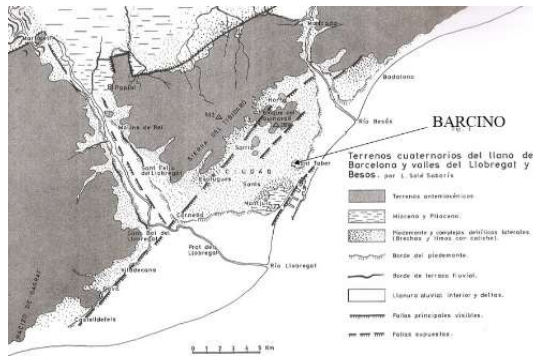


FIGURA 6. Degradació dels vessants terrassats després de l'abandonament del cultiu. Cervera (Segarra).

D'una manera semblant a les zones periurbanes, els sòls de millor qualitat en el medi rural anaven sent romputs pel cultiu al llarg de la història, i els menys productius es deixaven per a pastures i bosc. Aquesta racionalitat només es trencava en èpoques de crisi alimentària, o en el cas d'oportunitats excepcionals pel valor comercial d'algun cultiu (cas de la vinya quan encara no havia entrat la fil·loxera a Catalunya i la producció de vi havia caigut fortament a França). En aquestes situacions es posaven en cultiu terres poc productives, quasi sempre amb l'abancament dels vessants en terrasses, de molt cara construcció i manteniment, que després s'han anat abandonant amb l'arribada de la mecanització dels cultius i la industrialització, primer, i la terciarització de l'economia, després. Aquest ingent abancament de les muntanyes baixes i mitjanes a tota la Mediterrània ha suposat una gran transformació i degradació dels sòls, que en el moment actual porta a la desertificació de les àrees més seques del país.

QUADRE 1

De Barcino a la conurbació de Barcelona



Esquema geomorfològic.



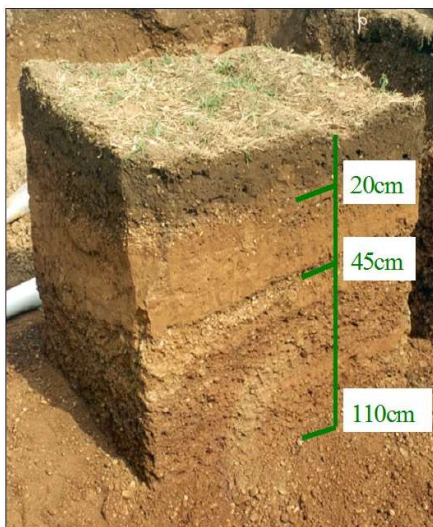
Dibuix de la Barcino romana damunt de l'àrea de Barcelona (Solé Sabarís, 1963). El mont Taber al segle II.



1706.



Actual.



Sòl profund, molt productiu, als Camps Experimentals de la Universitat de Barcelona, destruït per les edificacions.

3.1 Un exemple paradigmàtic a l'àrea metropolitana de Barcelona: el delta del Llobregat, de zona humida a parc agrari

3.1.1. Les amenaces i les transformacions del sòls sota la pressió periurbana

Els sòls naturals del delta són profunds i fèrtils, majoritàriament sòls joves per la pròpia dinàmica fluvial. Segons la granulometria del material edàfic es poden distingir dues grans zones: un «delta arenós» situat a l'extrem meridional, entre Castelldefels, Gavà i la Ricarda, en el qual dominen els sediments sorrencs provinents de les antigues barres i del sistema dunar aparegut amb la formació del delta, i un «delta llimós-argilós» a la vall baixa i a la zona deltaica entre Viladecans i el Prat de Llobregat, zona recoberta per llims i argiles de decantació aportats pel riu entre les successives avingudes. Els processos edàfics més actius són la hidromorfia per entollament, associada a processos d'oxidació-reducció, i la salinització en funció de la distància del freàtic i la proximitat al mar (Bech i Hernández, 1976).

Fins al segle XIX, la zona del delta era un territori inhòspit, de maresmes i agricultura de subsistència, amb rendiments molt baixos (el resum històric s'ha tret fonamentalment de Pomés, 2001). A Viladecans, aquestes maresmes i estanys a principi del segle XX encara ocupaven una gran part dels terrenys deprimits situats darrere de les comunitats dunars de la platja. El Remolar i les Filipines arribaven fins a l'actual carretera de València en unes immenses maresmes anomenades l'Àfrica. Per l'altre extrem, la Murtra i la Murtrassa també formaven una extensa zona d'aiguamolls que a poc a poc els pagesos anaven dessecant per convertir-los en camps de conreu (Montijano i Lucena, 2015). A principi del segle XX té lloc un desenvolupament agrícola important amb la dessecació de la majoria dels aiguamolls per tal d'evitar la propagació del paludisme. El territori pateix una transformació important amb l'agricultura de secà primer (cereals), de llegums després, i finalment de regadiu amb la introducció de millores en les tècniques i en infraestructures com el Canal Dret del Llobregat i el descobriment de les aigües artesianes. L'esplendor d'aquest model d'expansió agrícola i de producció hortícola arriba entre 1920 i 1936, quan culmina també el procés històric de dessecació de les antigues llacunes.

A mitjan segle XX, el fort creixement demogràfic i econòmic impulsa el desenvolupament industrial al delta en detriment de l'espai agrari. Part de les millors terres agrícoles passen a ser d'ús urbà i industrial. La resta queda sotmesa a les pressions

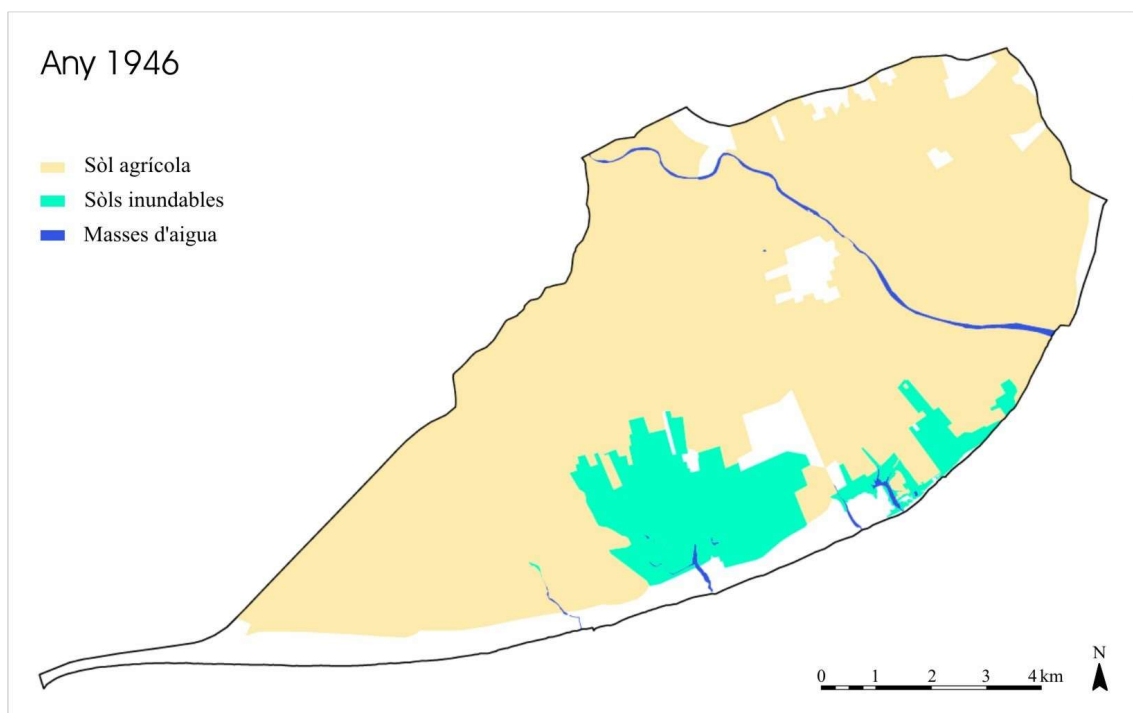
periurbanes derivades de l'activitat industrial i dels diferents projectes d'infraestructures. En aquest període, la pèrdua de sòl per segellament esdevindrà el vector de degradació principal, però també ho són la contaminació per metalls i la salinització, que provoquen l'abandonament de les terres de pitjor qualitat. Així, mentre que el Pla General Metropolità de 1976 registrava 10.804 hectàrees d'ús agrícola amb 4.256 de regadiu, a finals de segle XX només quedaven unes 3.000 ha d'ús agrícola. Davant la forta amenaça de pèrdua de sòl agrícola i aprofitant el Pla General Metropolità, l'any 1998 es va constituir el Consorci del Parc Agrari del Baix Llobregat, l'any 2001 es va aprovar el Pla de Gestió del Parc Agrari i l'any 2004 el Pla Especial de Protecció i Millora del Parc Agrari del Baix Llobregat. Amb la constitució del Consorci i l'aprovació d'aquests dos plans, el Parc Agrari, amb 2.938 hectàrees, 1.969 d'ús agrícola, es va acabar consolidant com l'ens gestor i dinamitzador de l'agricultura del Baix Llobregat. Actualment, però, aproximadament un 10 % de la superfície agrícola del parc està abandonada per poca productivitat, sòls degradats i sòls salinitzats. Tanmateix, aquesta superfície agrícola protegida es va veure amenaçada entre els anys 2011 i 2012 pel projecte de construcció d'un macrocomplex d'oci (Eurovegas) que ocuparia unes 900 ha de l'actual Parc Agrari, entre el Prat de Llobregat, Viladecans i Sant Boi. Aquest projecte es va aturar per raons múltiples, entre les quals el desinterès final del promotor i les accions efectuades des del territori.

3.1.2 Dinàmica de les transformacions

L'evolució recent del delta del Llobregat és una oportunitat per entendre no solament l'evolució dels sòls que s'inunden de forma periòdica i de les zones permanentment inundades, sinó també les escales i velocitats de transformació en un entorn periurbà. Amb aquest objectiu es descriuen tres moments diferents a partir dels vols de 1946 i de les ortoimatges de satèl·lit de 1996 i 2016 (totes facilitades per l'ICGC):

— *1946: El final del paludisme.* A l'inici del segle XVIII apareix un mapa de Gavà on es veuen clarament les principals «corredores» o canals de drenatge a l'oest del sistema lacunar de la Murtra i l'antiga Murtrassa. Al Prat de Llobregat hi havia també canals de reg que aportaven aigua del riu que, a més de regar, servien per a controlar la salinitat d'uns conreus que poc abans havien estat aiguamolls salabrosos. La pràctica d'inundar els conreus per dissoldre i exportar la sal acumulada i dessalinitzar el sòl (l'estanyat) va

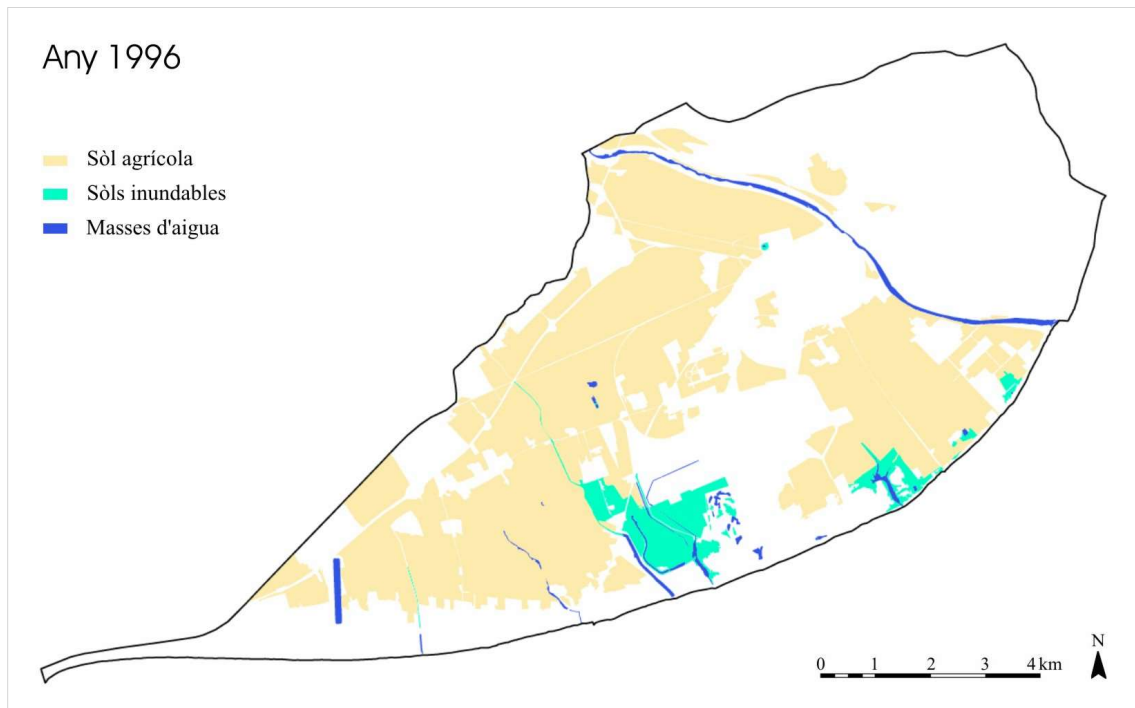
ser comuna fins a l'inici de la dècada de 1970. Les fotos del vol de 1946 permeten identificar encara arrossars al Prat de Llobregat i un encara extens sistema de prats humits amb diversos nivells de salinitat i d'inundabilitat. L'hemidelta oriental encara tenia una important superfície conreada i, en conjunt, els sòls agrícoles ocupaven el 76,7 % de la superfície del delta (definida en aquest cas com la plana deltaica fins a la línia que uneix Sant Boi de Llobregat i Cornellà (l'anomenat estret de Cornellà)). Les masses d'aigua no arribaven a les 84 ha, gairebé la desena part de la superfície ocupada per prats inundables i salobrars. Uns prats i salobrars que en aquell moment constituïen pràcticament el 10 % del delta.



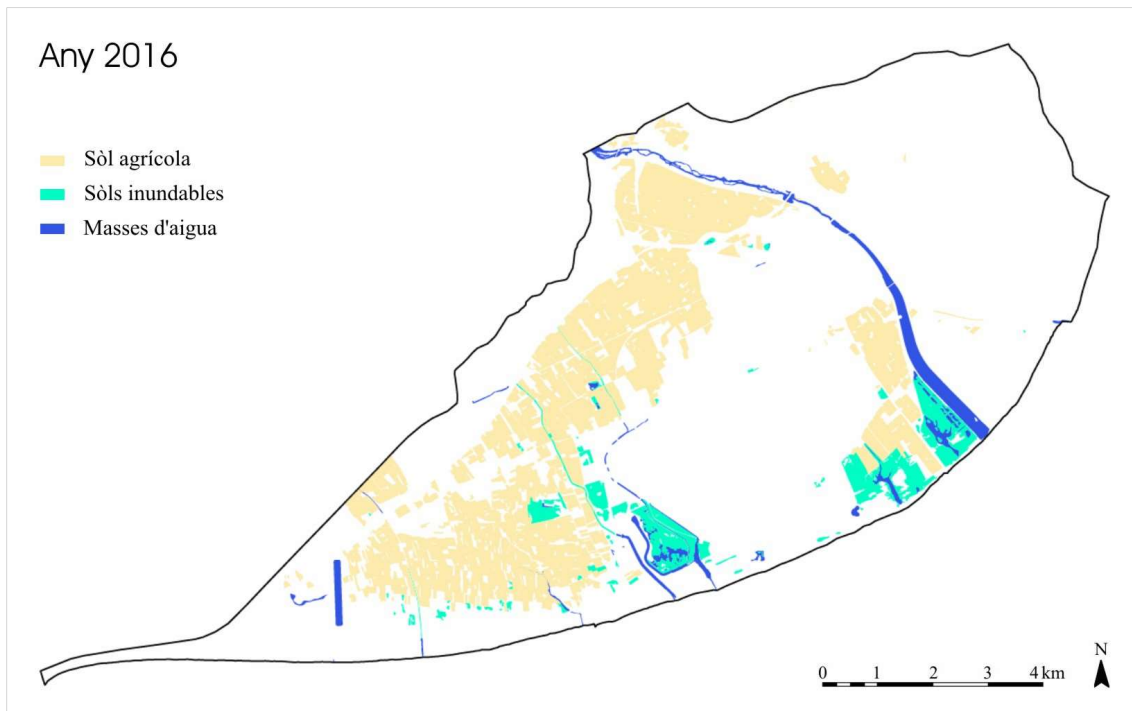
— 1996: *La modificació del sistema hidrològic.* Els anys 1990 es van caracteritzar per la canalització de les rieres i l'inici d'una profunda transformació de la llera del Llobregat. Tot i que l'activitat agrícola era ja molt reduïda a l'hemidelta oriental, encara es mantenia el 50 % de la superfície conreada de 1946. L'abundància d'aigua i els sòls sorrencs permetien diverses collites i fins i tot una especialització en productes de valor afegit com els espàrrecs o les carxofes. A l'entorn de la llacuna de la Murtra, la capacitat reguladora de la depuradora va permetre que molts camps tinguessin alimentació hídrica per capil·laritat. Fins i tot no calia regar! Els prats inundables van quedar desconnectats de bona part del cicle hidrològic a causa de la canalització de les rieres que

tradicionalment els inundaven (rieres dels Canyars, de Sant Llorenç i de Sant Climent). La darrera vegada que el nivell freàtic va emergir per sobre dels sòls i va crear làmines d'aigua extenses va ser l'any 1982. Així es va iniciar la decadència dels sòls sorrencs inundables.

Paral·lelament, l'interès social per les zones humides va propiciar la consolidació de les masses d'aigua permanents, que es van incrementar un 45 % respecte de l'any 1946.



— 2016: *La necessitat de reconstruir*. La imatge del 2016 mostra com les masses d'aigua permanents s'han incrementat respecte de 1946 en un 246 %, mentre que només resten 282 ha de prats inundables, incloent-hi saladars, un 70 % menys que l'any 1946. I bona part d'aquests prats ja no són funcionals, ja no s'inunden. La comunitat vegetal *Eriantho-Holoschoenetum australis*, caracteritzada pels herbassars de cesquera (*Saccharum ravennae*) de les depressions humides de rereduna, va desaparèixer cap a l'any 2010. Una causa principal d'aquesta desaparició ha estat la proliferació d'una planta invasora d'ecologia molt similar, la *Cortaderia selloana*.



Les cartografies anteriors permeten analitzar l'evolució de les grans unitats de paisatge no urbanes del delta. Des de 1996 ha desaparegut el 50 % de la superfície ocupada pels sòls agrícoles (Figura 7).

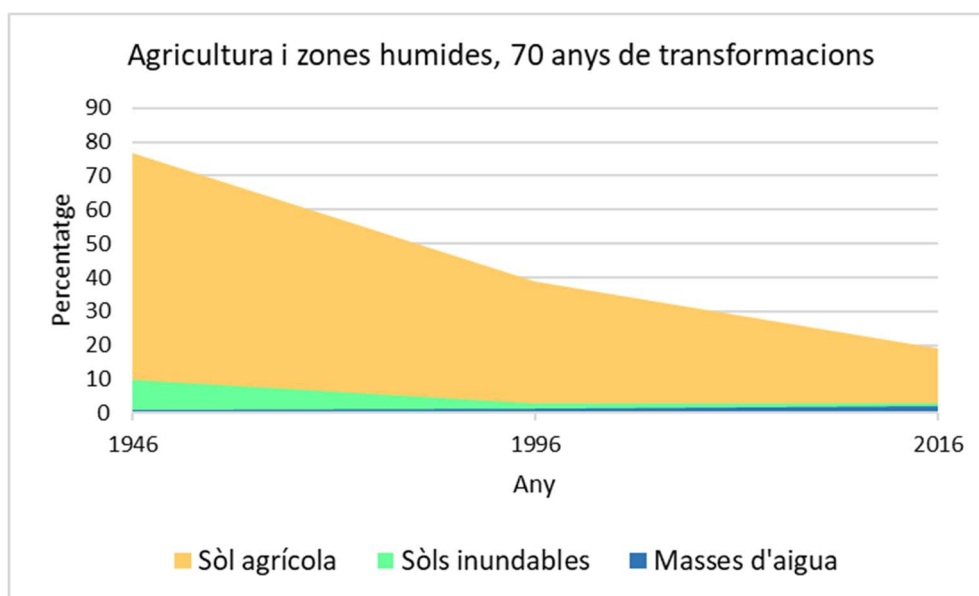


FIGURA 7. Evolució percentual de les unitats de paisatge més importants del delta del Llobregat entre 1946 i 2016.

3.1.3. Una mirada al futur

La protecció dels sòls productius a través del parc agrari, en una zona d'alta pressió de desenvolupament d'infraestructures, ofereix un exemple de gestió que es podria traslladar a altres indrets del país en situació similar d'amenaça d'aquests sòls de primera qualitat.

El fet que la superfície d'aigües permanents s'hagi duplicat respecte a l'any 1946 és un clar indicador que ara és el moment de reconstruir. El fort impacte de l'expansió del complex aeroportuari i el desviament del tram final del Llobregat suggereixen la necessitat de transformar els sòls agrícoles abandonats en noves zones humides per tal de restaurar parcialment els ecosistemes naturals. La recuperació dels sòls hidromorfs depèn essencialment de la disponibilitat d'aigua i de la regulació del sistema hidrològic.

La restauració, encara que fos parcial, del sistema hidrològic, fent que les rieres tornin a inundar antics aiguamolls, permetria no solament recuperar sistemes de drenatge tradicionals, paisatges i biodiversitat, sinó que seria també una eina important d'adaptació al canvi climàtic: recuperar la capacitat de recàrrega de l'aquífer és implementar la capacitat d'adaptació enfront de futures sequeres.

4. LA QUALITAT NATURAL DEL SÒL COM A BASE DE L'AGRICULTURA SOSTENIBLE.

LIMITACIONS I PERSPECTIVES

Una funció primordial del sòl és la producció agrícola com a base de l'alimentació de les societats humanes. Actualment, malgrat els avenços tecnològics que permeten els cultius fora del sòl, la FAO estima que el sòl subministra directament o indirecta el 95 % de l'alimentació. En les societats caçadores-recol·lectores, els sòls es mantenen en un estat pràcticament natural, si bé se sap que a vegades s'utilitzava el foc per a afavorir determinades espècies vegetals o animals. Des de l'aparició de l'agricultura, ara fa uns deu mil anys, les civilitzacions han gestionat el sòl d'una manera força intensiva, ja sigui a partir de la rompuda de terres o mitjançant la gestió de les pastures. A diferència de les terres rompudes en les quals es llaura d'una manera regular, les pastures mantenen la gleba que protegeix la terra contra l'erosió. De fet, tenen una fisiognomia similar a les estepes i les praderies naturals, i en conseqüència, els sòls de pastura, en cas que no estiguin sobreexplotats, presenten unes característiques molt semblants als corresponents

sòls naturals (*Chernozems*, *Kastanozems* i *Phaeozems* en les grans estepes o pampes o *Leptosols* i *Regosols* en els prats de muntanya). Cal tenir en compte, doncs, que els sòls de pastura ofereixen avantatges respecte dels sòls romputs des del punt de vista de la conservació del recurs edàfic. En aquest sentit, la FAO recomana la rotació amb pastura com una mesura de conservació de sòls.

Els sòls romputs presenten unes característiques molt diferents dels seus sòls corresponents naturals, ja siguin forestals o de pastura. La seva principal característica diferencial seria l'exposició dels seus horitzons minerals a l'impacte de les gotes de pluja i als canvis de temperatura bruscos que es donen a l'atmosfera. La llaurada periòdica seria la principal pràctica agrícola a la qual aquests sòls estan sotmesos i que els priva de la gleba o de la protecció superficial que exerceixen els horitzons orgànics típics dels sòls forestals. A més, la llaurada periòdica modifica l'estructura d'aquests sòls i afavoreix la descomposició de les partícules orgàniques que es troben protegides dins dels agregats, de manera que aquests sòls els trobem sovint empobrits en matèria orgànica, fet que en facilita la compactació.

La introducció del regadiu en zones seques i semiàrides va permetre augmentar molt la producció d'aliments. Actualment, aquesta producció en terres de regadiu representa aproximadament un 40 % del total i es preveu que s'incrementi en un 38 % cap a mitjans segle. Tanmateix, el regadiu presenta uns riscos ambientals i de sostenibilitat que val la pena prendre en consideració. En medis poc drenants, com ara els fondals, i en entorns geològics amb presència de sals, els sòls dels regadius poden ser vulnerables a la salinització. Als regadius de la Depressió Central catalana i en zones planes properes a la costa cal considerar aquest risc. De fet, la salinització dels sòls és considerada per la FAO un problema de primera magnitud a escala mundial, que clarament empitjorarà amb el canvi climàtic. Avui dia disposem de tecnologies que poden redreçar el problema de la salinització d'una manera parcialment satisfactòria, per bé que sempre cara. De tota manera, el problema no està del tot resolt, ja que la salinització dels regadius continua avançant a molts indrets, incloent-hi fins i tot els sistemes de conreu més tecnificats (com ara a Israel). El control de qualitat de l'aigua de reg i l'afavoriment del drenatge de les terres de conreu seria l'estratègia a seguir per tal de minimitzar els riscos de salinització.

Els cultius amb llaurada freqüent que no tenen una coberta vegetal permanent, com ara els cereals o els fruiters, deixen el sòl nu exposat al risc d'erosió quan es localitzen als vessants. Aquesta vulnerabilitat a l'erosió pot afectar també les terres de pastura en els casos en què la sobrepastura comporta la seva degradació i afavoreix la presència de

terres nues. La vulnerabilitat a l'erosió pot veure's també accentuada en el cas de la modificació dels relleus naturals, la construcció de noves terrasses o l'adequació de grans superfícies de territori per a la mecanització dels conreus.

La vulnerabilitat dels sòls agrícoles a l'erosió es coneix des de ben antic i no podem dir que a hores d'ara ho tinguem resolt. La degradació dels sòls per erosió ha estat documentada tant a la Grècia clàssica (200 aC) com en el cas de la civilització maia (segle X dC). En el cas de Grècia hi ha evidències històriques que la degradació dels sòls que es va produir en aquells temps antics ha arribat als nostres dies, i en el cas de la civilització maia sabem del seu col·lapse, que tingué lloc ben abans de l'arribada dels espanyols a Amèrica, fou deguda en part per la mala gestió dels sòls de les terres de conreu. També sabem del col·lapse de la civilització sumèria, que tingué lloc a causa del declivi de les seves collites per una combinació de l'erosió dels vessants de les pastures de muntanya i la salinització de les terres fèrtils al·luvials de les zones planes (1.800 aC).

4.1. *L'agricultura mediterrània*

L'agricultura i la ramaderia han estat presents al nostre territori de manera continuada durant mil·lennis, i aquest llegat el trobarem present en l'estat actual dels nostres sòls. Des de mitjan segle XX, a la ribera nord mediterrània, la gestió agrícola dels sòls de conreu s'ha intensificat a partir de la implantació al territori de la revolució verda. La revolució verda no és altra cosa que l'arribada de la industrialització a les pràctiques agrícoles per tal d'augmentar-ne els rendiments. En el nostre cas, la revolució verda ha consistit a (1) augmentar la superfície de regadiu, (2) augmentar la superfície dels camps i la uniformització dels conreus (monocultius) per adaptar-los a la nova maquinaria, (3) introduir els fertilitzants de síntesi i els agroquímics per al control de plagues i (4) utilitzar noves varietats seleccionades per assolir produccions elevades. Aquest sistema de producció requereix molts *inputs*, té un balanç energètic poc positiu i tendeix a substituir la fertilitat natural del sòl per la fertilitat basada en la llaurada i els fertilitzants artificials. Sovint, l'excés de fertilització provoca la contaminació dels aqüífers. Recentment, l'agricultura de precisió, amb tècniques prou sofisticades, s'orienta a ajustar els *inputs* a les necessitats de sòls i cultius per tal d'optimitzar-ne l'eficiència i reduir els efectes indesitjables.

Podem pensar que la qualitat dels sòls agrícoles de què disposem en l'actualitat serà el resultat de la seva explotació passada, ja sigui la més recent com a efecte de la revolució verda o la més antiga com a conseqüència del seu ús mil·lenari. Pel que fa als nivells de matèria orgànica, constatem que avui dia tant els sòls de conreu mediterranis com els de pastura són molt pobres en matèria orgànica, sobretot en les zones més seques i semiàrides. També tenim indicis que els sòls en regadiu no presenten uns nivells de matèria orgànica gaire elevats (Romanyà i Rovira, 2011; Funes et al. 2019). No podem estar segurs de si els nivells de matèria orgànica dels sòls actuals són deguts a la gestió d'avui o a la gestió històrica. De tota manera, el fet que els sòls d'erm i de pastura, en bona part abandonats actualment, no hagin estat conreats en la seva majoria segons el model de l'agricultura industrial ens fa pensar que l'estat actual de degradació d'aquests sòls pot ser en molts casos el resultat de la seva explotació mil·lenària més que no pas de la seva explotació a les darreres dècades (Romanyà, 2016). De fet, en els sòls de clima atlàntic de la península Ibèrica, els erms i les pastures presenten una quantitat de matèria orgànica superior a la dels sòls forestals. Aquest fet sembla que és general al món (Guo i Gifford, 2002) i, per tant, ens indica que el cas dels sòls mediterranis constitueix una excepció.

4.2. Agricultura i conservació de sòls

Encara que no puguem estar segurs sobre les causes de les pèrdues de matèria orgànica dels nostres sòls de conreu, siguin recents o antigues, se sap que les pràctiques agrícoles, tal com s'han aplicat als països industrialitzats durant la segona meitat del segle XX, en molts casos no han afavorit la conservació de la matèria orgànica del sòl ni han aturat l'erosió ni la salinització dels sòls. També s'ha vist que darrerament la productivitat per hectàrea dels sistemes de conreu ha deixat de créixer fins i tot després de l'aplicació de les quantitats necessàries de fertilitzants. Aquest fet es pensa que pot ser degut a la degradació de l'estructura del sòl produïda a causa de la combinació de la pobresa en matèria orgànica dels sòls de llaurada i l'acció de la maquinària pesant usada en bona part per a les labors de llaurada. Aquesta degradació es concentra en els primers centímetres de sòl, formant les crostes que dificulten la infiltració, i en fondària formant el que se'n diu la sola de l'arada, la duresa de la qual moltes vegades no permet l'arrelament, reduint així el volum de sòl útil per a les plantes. D'altra banda, la pobresa en matèria orgànica

afecta la formació de macroporus en tot el volum del sòl, fet que dificulta l'aeració i que, per tant, condiciona l'arrelament i les condicions de vida dels organismes del sòl. Hom pensa que aquest fet afavoreix l'aparició de malalties dels conreus. Així doncs, atès l'estat de conservació dels sòls de conreu, darrerament s'ha posat en dubte la sostenibilitat dels sistemes d'explotació agrícola que es van establir a mitjan segle XX. És per això que a les últimes dècades s'han posat a punt nous models de gestió adreçats en bona part a la protecció dels sòls i a l'assoliment de productivitats sostingudes. Entre aquests models trobem l'agricultura ecològica i l'agricultura de la conservació. Aquests sistemes es basen en la millora dels sòls de conreu a partir d'augmentar-ne el contingut de matèria orgànica. Per augmentar el contingut de matèria orgànica d'un sòl hi ha diverses estratègies: (1) disminuir la intensitat de llaurada, (2) afavorir el creixement de les arrels a partir de cobertes vegetals o de conreus continuats i (3) a partir d'aportacions de matèria orgànica exògena i el retorn dels residus al sòl.

L'estratègia que utilitza l'agricultura de conservació consisteix en la minimització de la llaurada. En aquest tipus de gestió es proposa la sembra directa, és a dir, no llaurar la terra. Per tal d'aplicar aquesta tecnologia se sembra al damunt del rostoll passant únicament una rella sobre la terra per colgar mínimament la llavor. En aquest cas, es manté pràcticament intacta l'estructura de la superfície del sòl. Per a la fertilització d'aquests conreus sovint es fan servir aportacions de fertilitzants de síntesi o purins. Finalment, en no haver-hi control mecànic de les males herbes, cal aplicar-hi herbicides per evitar que aquelles ofeguin el conreu. Si bé aquesta tècnica s'ha començat a aplicar en conreus herbacis, també es busquen maneres d'aplicar-la en conreus hortícoles (fig. 8).

Un dels avantatges de la sembra directa és el manteniment de restes vegetals a la superfície. Aquestes restes, que poden estar en part arrelades a terra, protegeixen el sòl de l'impacte de les gotes de pluja i ajuden a mantenir una bona estructura en els primers centímetres de sòl, fet que protegeix de l'erosió i afavoreix la infiltració de l'aigua. D'altra banda, i sobretot en els casos en què la coberta de restes vegetals és abundosa, aquesta circumstància contribueix també al control de les males herbes. Aquesta contribució al control de les males herbes, però, acostuma a ser moderada. De fet la proliferació de males herbes representa un dels problemes amb què es troben els agricultors ecològics a l'hora d'aplicar la sembra directa, atesa la impossibilitat que tenen d'utilitzar herbicides.



FIGURA 8. Esquerra: Incorporació d'adobs verds sense llaurada. Dreta: Plantació de cols sense llaurada.

La sembra directa presenta beneficis en el sòl, deguts en bona part a l'augment de matèria orgànica que es produeix després de deixar de llaurar. En els sòls mediterranis s'ha vist, però, que aquest augment és superior quan els sòls són lliures de carbonats (Hernanz *et al.*, 2009). Aquest fet ens fa pensar que la recuperació dels sòls amb carbonats pot ser més lenta que la dels sòls que no en tinguin.

Una altra pràctica de millora del sòl, molt comuna en conreus llenyosos, és l'establiment de cobertes vegetals entre els arbres. Una variació d'aquesta tècnica aplicable a horta o a conreus herbacis seria l'establiment de cobertes en els mesos entre conreus. Aquestes cobertes es poden incorporar al sòl de tant en tant i a més de contribuir a la reserva de matèria orgànica poden actuar com a adobs verds. Si bé les cobertes vegetals poden millorar les condicions hídriques del sòl, augmentant-ne la taxa d'infiltració o el contingut d'aigua útil, també poden competir per aigua i nutrients amb les plantes conreades. La competència per l'aigua és un fet clau que pot limitar l'establiment de les cobertes vegetals en condicions mediterrànies. L'agronomia moderna proposa en aquests casos reduir la biomassa de les cobertes durant els mesos de sequera a partir de segues i intentar evitar la llaurada.

L'aplicació de matèria orgànica exògena és també una pràctica que pot contribuir a la millora dels sòls. A més, aquesta pràctica permet afavorir el reciclatge de residus orgànics, ja siguin d'origen rural o urbà. Els residus orgànics contenen, a més de matèria orgànica, tots els nutrients necessaris per als conreus i, per tant, poden ser un bon sistema de fertilització que a més afavoreix les comunitats microbianes. Els nutrients continguts en aquests residus són generalment força disponibles per a les plantes. De tota manera, hi ha residus que contenen nivells significatius de contaminants, ja siguin elements potencialment tòxics o productes xenobiòtics persistents. Aquests residus no serien adequats per a ser aplicats al sòl i menys encara per als sòls de conreu. Una vegada

identificats els residus lliures de contaminants, que poden ser aptes per l'aplicació als sòls de conreu, convé saber que els seus efectes un cop aplicats al sòl poden ser molt diversos segons el nivell d'estabilització de la seva matèria orgànica i segons la seva riquesa en nutrients, sobretot nitrogen. Se sap que els residus compostats presenten una matèria orgànica més estable que els residus frescos i que en els primers l'estructura de les comunitats microbianes serà més semblant a la que hi pugui haver al sòl. Aquest fet fa que l'aplicació de materials estables puguin contribuir a la construcció de la reserva de matèria orgànica d'una manera molt eficient. En canvi, l'aportació de matèria orgànica fresca pot contribuir al buidat de la matèria orgànica ja existent al sòl, a causa, entre altres factors, d'un augment passatger de l'activitat microbiana associada a la matèria orgànica fresca. D'altra banda, s'ha vist que alguns d'aquests materials compostats presenten unes propietats que poden dificultar el desenvolupament de malalties de les plantes, ja sigui a través d'antagonismes dels seus organismes amb els patògens o través de mecanismes d'inducció de resistència en les mateixes plantes.

Els residus orgànics es poden aplicar incorporats al sòl o en superfície a manera d'empallat o *mulch*. Si bé l'aplicació dels materials orgànics en superfície pot suposar un alentiment en el reciclatge de nutrients, pot afavorir, en canvi, l'estructura de la superfície del sòl protegint els agregats de l'impacte de les gotes de pluja, alhora que pot contribuir al control de les males herbes. Actualment es recomana minimitzar l'exposició de la terra mineral a l'atmosfera. Per això, l'agricultura moderna recomana l'aplicació de *mulch* en les seves diverses modalitats (residus orgànics, materials sintètics biodegradables, restes de collita, adobs verds en superfície). Veiem, doncs, que l'aplicació de materials orgànics al sòl presenta molts avantatges. De tota manera, també comporta incerteses, degudes sobretot a la gran variabilitat que hi ha en la seva composició i a la complexitat de la seva aplicació en bona part a causa de la seva multifunció.

Actualment es parla que convé tenir sòls en bona salut per aconseguir una producció d'aliments saludable. Un sòl en bona salut vol dir un sistema viu, amb bona estructura, en el qual visqui una comunitat biòtica diversa, que ajudi a controlar les malalties de les plantes, que contribueixi a la simbiosi d'aquests organismes amb les arrels dels conreus i pugui subministrar els nutrients necessaris per a la producció. L'agricultura del segle XXI es troba, doncs, compromesa amb el subministrament de productes alimentaris a les poblacions humanes creixents i alhora amb la recuperació de la qualitat dels sòls degradats per la llarga història d'ús que se n'ha fet. Des de la Generalitat de Catalunya es promouen els models agrícoles que afavoreixen la protecció del sòl, com són l'agricultura

integrada i l'ecològica. L'extensió de terres en producció integrada, sistema agrícola de producció que combina l'agricultura tradicional i l'ús d'agroquímics amb mètodes respectuosos amb el medi ambient i amb la millora de la fertilitat natural del sòl, s'ha més que duplicat en els darrers deu anys i actualment representa un 3,8 % de la superfície conreada a Catalunya, si bé en el context de l'horta de Lleida aquest model de gestió ja arriba al 60 % del total i en la producció de fruita de pinyol cobreix la pràctica totalitat de l'extensió conreada. L'agricultura ecològica ha quadruplicat la seva superfície en els darrers deu anys i ara representa un 15,4 % de la superfície conreada a Catalunya. Les extensions més grans d'agricultura ecològica les trobem en pastures i farratges (18,5 %), i en conreus de cereals (20 %); en el cas del conreu de fruiters, l'agricultura ecològica arriba només al 10 % de l'àrea. Pel que fa als conreus herbacis extensius, la sembra directa actualment representa un 18 % de la superfície conreada i un altre 16 % es conrea segons criteris de llaurada mínima. Aquests dos sistemes de gestió afavoreixen la retenció de matèria orgànica al sòl. Com hem dit abans, en el cas de l'agricultura ecològica hi ha problemes per aplicar la sembra directa, ja que és difícil fer-la sense l'ús d'herbicides. Finalment, volem destacar el fet que en conreus herbacis extensius mediterranis en gestió ecològica, en àrees amb poca densitat ramadera, no sempre s'han vist augments de matèria orgànica de resultes del sistema de gestió (Chamorro *et al.*, 2017).

4.3. *Quina superfície de sòl productiu ens toca per habitant? Perspectives de conservació del sòl agrícola per a la seguretat alimentària*

El problema de la producció d'aliment al món deriva del balanç entre l'augment de la població i la producció agrària i ramadera (superfície cultivada/pasturada multiplicada per la seva productivitat), a banda de la pesca. Pel que fa a la superfície cultivada, hi ha més augment de la població que de les terres cultivades. La relació va baixant i ara ens toca a 1/5 d'hectàrea per persona (els anys 1960 era el doble). El 1776, el president del EUA Thomas Jefferson va intentar, sense èxit, introduir a la constitució de l'estat de Virginia una clàusula per la qual cada ciutadà lliure (els esclaus no) tenia dret a 20 ha de terra de cultiu. Aquesta xifra és molt llunyana del que tenim de mitjana al món actual. A la Catalunya actual no tindriem prou terra, ni de lluny, per fer aquest repartiment.

Per posar una nota d'optimisme, la productivitat agrícola al món augmenta (excepte a l'Àfrica subsahariana) i es preveu que continuarà augmentant. Tot i així, probablement

la productivitat tindrà un límit i, sense descartar hipotètiques grans revolucions agroalimentàries que puguin desenvolupar-se, fora prudent conservar els sòls productius per garantir al màxim la seguretat alimentària futura del territori. Cal destacar que els sòls productius al món són escassos: en l'actualitat, segons el mapa global elaborat pel servei geològic dels Estats Units (<https://www.usgs.gov/media/images/map-worldwide-croplands>), representen poc més del 5 % de la superfície dels continents.

5. L'IMPACTE DELS INCENDIS FORESTALS. HEM MILLORAT?

Es incendis forestals poden contribuir a la degradació física, química i biològica dels sòls. Tanmateix, l'anàlisi dels impactes ecològics en el sòl va molt associada als impactes en la vegetació, i per això requereix un abordament ecosistèmic. Els processos induïts durant la combustió, molt dependents de la intensitat del foc, consisteixen en:

— La pèrdua directa de matèria orgànica i nutrients de la vegetació i de la fullaraca per volatilització i convecció (fum), en funció de la intensitat del foc. Les pèrdues en el sòl mineral solen ser baixes en els nostres ecosistemes, en què els focs de sòl o de subsòl són inusuals.

— En la major part dels incendis, una gran part de la fullaraca és consumida pel foc, excepte l'horitzó d'humus (si existeix). Això implica la desaparició temporal de l'hàbitat de microorganismes i mesofauna, particularment àcars i col·lèmbols.

— La deposició de cendres sobre la superfície del sòl, molt alcalines, lleugeres i solubles, fàcilment erosionables. Les cendres es poden incorporar al sòl: el seu pH és amortit per la matriu mineral i contribueixen a la millora de la fertilitat durant els mesos posteriors al foc.

— Si el foc és molt sever arran del sòl mineral, pot produir canvis químics en la seva superfície i generar una capa hidrofòbica que dificulta la infiltració de l'aigua de pluja.

Pel que fa als nutrients, la paradoxa és que els incendis sempre causen pèrdues netes de nutrients, particularment de nitrogen, però a curt termini (aproximadament durant un any després del foc) la disponibilitat de nutrients al sòl augmenta per les cendres i per l'estímul en la mineralització del nitrogen orgànic del sòl, amb la qual cosa la vegetació que primer es regenera trobarà un sòl més fèrtil que el que hi havia abans del foc. La recuperació del capital de nitrogen de l'ecosistema cremat es produeix a mitjà/llarg

termini per la fixació biològica de nitrogen (lleguminoses especialment) i per la deposició-pol·lució atmosfèrica.

Quant als riscos postincendi, cal dir que la desaparició temporal de la coberta vegetal pel foc genera nous riscos de degradació del sòl, és a dir, impactes indirectes del foc. El primer, el risc d'erosió: el sòl desprotegit és molt sensible a l'erosió hídrica i, si l'erosió és intensa, pot causar pèrdues irreversibles de sòl a escala ecològica que no es poden recuperar amb les tècniques de restauració. Igualment, el sòl nu està exposat a l'impacte directe de la pluja i a la degradació de l'estructura superficial que pot donar lloc a la formació d'una crosta superficial, de vegades molt dura, especialment en sòls de textura fina. La crosta dificulta la germinació i redueix la capacitat d'infiltració d'aigua al sòl i, en conseqüència, augmenta l'escolament superficial i el risc d'erosió.

Els impactes postincendi estan associats a la manca de coberta vegetal i, per tant, depenen de la velocitat de recuperació de la vegetació després del foc. Respecte al sòl, sovint els impactes indirectes són més importants que els directes associats a la combustió. Als països mediterranis, l'impacte del foc se superposa a la degradació prèvia del sòl, com s'esdevé en cultius terrassats abandonats (fig. 9). Davant d'aquests paisatges impressionants, en els quals es posa de manifest la degradació d'un paisatge agrícola i cultural en decadència, hom té la temptació de recuperar els murets de pedra dels bancals, en via d'esfondrament. Tanmateix, aquestes terrasses construïdes i mantingudes amb tant d'esforç pels pagesos al llarg dels segles, i que apareixen en enormes extensions als països mediterranis, en una economia de subsistència, difícilment es poden reconstruir i mantenir amb subvencions, un cop han perdut la seva utilitat agrícola. Només en àrees emblemàtiques fora viable la recuperació (i manteniment) de les terrasses.



FIGURA 9. Incendi de les Useres (Castelló, agost de 2007).

El sòl recentment cremat és força sensible a les alteracions mecàniques, al pas de maquinària i a l'arrossegament de troncs. En vessants amb fort pendent i sòls erosionables (òbviament aquest factor pot ser molt variable), l'extracció ràpida de la fusta cremada, justificada per raons econòmiques, pot provocar més erosió que l'incendi mateix. Seria recomanable intentar compatibilitzar l'aprofitament de la fusta amb la conservació del sòl, modulant les tècniques d'extracció i/o els temps per tal d'evitar els impactes quan el sòl és més vulnerable. En tot cas, no hi ha receptes simples aplicables a tots els incendis forestals. La gestió sostenible del bosc cremat dependrà de les característiques del foc i de l'ecosistema, en la mesura que aquests dos factors controlen els impactes i la capacitat natural de regeneració (resiliència).

A l'escala de la conca hidrogràfica, els incendis causen un augment dels cabals després del foc, per la reducció temporal del consum d'aigua per la vegetació, i un augment dels nutrients als rius per les cendres i l'augment de la nitrificació. L'erosió pot generar impactes en les infraestructures i l'augment de la sedimentació en els embassaments.

Durant les darreres dècades, el coneixement sobre els impactes dels incendis forestals i el desenvolupament de tècniques de restauració d'ecosistemes cremats han avançat molt als països mediterranis. La reducció de l'impacte durant la combustió s'aborda a partir de les tècniques de gestió del combustible, incloent-hi les cremes prescrites. Per a la

restauració, disposem de protocols d'actuació orientats a reduir la pèrdua irreversible del sòl i fomentar la recuperació de l'ecosistema. Malgrat que en tots els informes sobre els impactes dels incendis es destaca la importància de conservar el sòl, a la pràctica rarament s'apliquen accions orientades a aquest objectiu. Aquí ens falta aplicar el coneixement disponible i una perspectiva de conservació dels ecosistemes a llarg termini que prioritzi la sostenibilitat.

6. LA RECUPERACIÓ DELS SÒLS DEGRADATS. PODEM FABRICAR SÒLS?

A la Mediterrània, la degradació antròpica dels sòls és tan antiga com el desenvolupament agrícola, és a dir, d'uns deu mil anys a partir de la revolució neolítica. L'augment de terres conreades ha anat acompanyada de la degradació dels sòls més vulnerables i del seu eventual abandonament. L'agricultura és la causa històrica més important de degradació del sòl. En el moment actual, la rompuda de terres ocupades per ecosistemes naturals és poc rellevant al nostre país i més aviat es concentra en regions tropicals. El que aquí predomina és l'abandonament de terres cultivades, generalment marginals i en vessants terrassats. A banda tenim els sòls contaminats, els salinitzats pel regadiu i els afectats per incendis ja esmentats més amunt. Tots aquests serien casos de sòls degradats susceptibles de restauració.

Un cas especial és el de la recuperació de pedreres (fig. 10) i abocadors clausurats en els quals, normalment, el sòl original es va destruir completament i es tracta de crear-ne un de nou o d'utilitzar terres reciclades d'obres. En el primer cas, s'utilitza un material que tingui un mínim de terra fina, tipus regolita (com ara el rebuig minaire), que, convenientment esmenat, pugui suportar el creixement de les plantes i anar formant sòl. Seria un sòl artificial que no tindria tots els atributs dels sòls naturals, però que pot funcionar per desenvolupar una coberta vegetal i la recuperació del paisatge. En el segon cas, les terres reservades de les excavacions poden ser reciclades per a reconstruir el sòl. Aquestes terres perden la seva estructura edàfica, però si s'han emmagatzemat en condicions apropiades conserven una gran part de la seva fertilitat i fins i tot poden conservar part del banc de llavors original i dels organismes del sòl. La recuperació del sòl en aquest cas és molt més ràpida. Els projectes de creació de sòls artificials són molt costosos i per limitacions dels substrat mineral/sòl de restauració només són viables en

superfícies reduïdes; no cal pensar doncs en la fabricació de sòls artificials a gran escala (de desenes d'hectàrees o més).

En el cas de la recuperació de sòls agrícoles contaminats i salinitzats, es poden utilitzar tècniques mecàniques i químiques. Les plantes es poden utilitzar per bioremediació en sòls contaminats, i en sòls salins es poden seleccionar cultius poc o molt tolerants. En la restauració postincendi o en les pedreres, abocadors i talussos d'obra lineal, la vegetació és part essencial en el procés restaurador en la mesura que fa un paper de protecció i retenció del sòl, d'estimulant de l'activitat biològica i d'agent iniciador dels cicles orgànics. La utilització de lleguminoses afavoreix també la incorporació de nitrogen al sòl.



FIGURA 10. Restauracions a la pedrera de calcària de Vallcarca. Els talussos de la part superior marquen el límit de la pedrera. Foto presa el 2009.

En el cas de la creació de sòls artificials, l'addició de matèria orgànica, sovint derivada de fangs de depuradora, és una estratègia per a augmentar la matèria orgànica del substrat mineral de restauració i l'activitat biològica que se'n deriva, a més de donar un ús a aquests residus. A banda de controlar la qualitat d'aquests materials orgànics per evitar els contaminants, la dosi s'ha de calcular amb cura per evitar el risc de contaminació dels aqüífers. També cal evitar crear sòls massa rics en nutrients, eutròfics, en la mesura que s'aparten de la fertilitat dels sòls naturals i promouen el

desenvolupament d'espècies ruderals en comptes de la flora dels ecosistemes naturals de referència.

La restauració de sòls i d'ecosistemes degradats és sempre cara en termes energètics i econòmics. Òbviament, resulta molt més barat evitar la degradació que fer una restauració. Per tant, els projectes de restauració s'han de prioritzar i planejar molt bé, incorporant-hi criteris de cost-benefici, en què el benefici prengui en consideració els serveis ecosistèmics.

7. ELS SÒLS I EL CANVI CLIMÀTIC

Dins el context actual de canvi climàtic, el paper dels sòls com a font o embornal de carboni és un dels temes més importants en la recerca edafològica arreu del món. Els sòls emmagatzemen una quantitat important de C en forma de matèria orgànica i no es coneix amb detall com l'alteració d'aquest magatzem pel canvi climàtic pot contribuir a la intensitat dels seus efectes. S'estima un contingut de C al sòl (aproximadament, 1.600 Pg C), més de dues vegades superior al contingut a la atmosfera (750 Pg C) o a la biosfera (560 Pg C) (Schlesinger, 1991). Un 33 % de les emissions de CO₂ a l'atmosfera des de 1750 han tingut lloc per canvi d'ús de sòl, desforestació, etc.; a les darreres dècades aquesta xifra ha baixat a un 11 % a causa de l'augment de la contribució dels combustibles fòssils i a una certa reducció de les desforestacions (IPCC, 2014).

El C del sòl resulta del balanç entre les entrades (matèria orgànica sintetitzada per fotosíntesi) i les sortides (respiració microbiana de la matèria orgànica). Així, el sòl actua com a embornal si l'estoc de carboni augmenta, és a dir, si es produeix allò que se sol anomenar *secrestament* de carboni. El sòl actua com a font si és un emissor net de carboni a l'atmosfera (en forma de CO₂), és a dir, si el carboni que perd per la respiració dels microorganismes ultrapassa el carboni que s'incorpora al sòl. La respiració del sòl (respiració, arrels i descomposició microbiana) pràcticament és equivalent a les entrades per fotosíntesi (balanç neutre o lleugerament positiu) i es considera vuit vegades superior a l'emissió derivada de l'ús de combustibles fòssils (Canadell *et al.*, 2007). Per aquest motiu, petits canvis a escala global en els processos que determinen aquests fluxos poden esdevenir importants per al canvi climàtic. De cara al compliment dels compromisos internacionals sobre la minoració del canvi climàtic, és important que els sòls siguin gestionats de manera que el balanç de carboni sigui favorable a les entrades.

Un augment de la temperatura comporta, malgrat la capacitat tampó dels sòls, una acceleració dels processos metabòlics de la matèria orgànica edàfica i la conseqüent emissió cap a l'atmosfera de CO₂ (vegeu, per exemple, Kirschbaum, 1995). A més de la temperatura, l'activitat mineralitzadora de la matèria orgànica o descomposició i emissió de CO₂ cap a l'atmosfera depèn de la humitat i la qualitat de la matèria orgànica. Així, a finals del segle passat ja es va constatar en un transsecte des del nord d'Europa fins a la península Ibèrica que l'augment de descomposició de la matèria orgànica del bosc amb la temperatura es veia condicionat per la humitat, i esdevenia menor a l'esperat als boscos mediterranis (Coûteaux *et al.*, 2001).

Davant d'aquests escenaris de canvi climàtic i possible contribució dels sòls a l'augment del CO₂ atmosfèric, esdevé clau: (i) evitar la degradació dels embornals (és a dir, la destrucció del funcionament del sòl), i (ii) afavorir els canvis d'ús del sòl i les gestions que contribueixin a la fixació neta de C. La complexitat dels mecanismes i instruments per a dur a terme aquesta política de mitigació del canvi climàtic és evident. Així, les possibles accions han de tenir un enfocament holístic i cal valorar tant el conjunt d'emissions de gasos amb efectes hivernacle de tot el procés com els efectes no desitjats sobre les poblacions locals, la seguretat alimentària o la biodiversitat.

La degradació de la capacitat del sòl d'actuar com a embornal és evident en moltes situacions, com ara el segellat i l'erosió. En altres casos, com en la contaminació, incloent la salinització, és menys aparent. Els incendis forestals comporten una emissió neta directa cap a l'atmosfera, que pot accentuar-se en funció de la gestió postincendi (vegeu l'apartat 5), i una disminució de la capacitat de segrest a escala, si més no, humana. Caldria elaborar urgentment un mapa de sòls amb continguts aproximats de C en tot el perfil edàfic i potencial de segrest. El mapa recentment publicat per Funes *et al.* (2019) per als sòls agrícoles s'hauria d'ampliar a altres tipus d'ecosistemes i usos del sòl. Aquest mapa s'hauria d'incorporar al procés de presa de decisions dels legisladors i els planificadors.

A grans trets, existeixen canvis d'ús del sòl que clarament afavoreixen el segrest de C i altres que n'afavoreixen la pèrdua cap a l'atmosfera (vegeu, per exemple, Guo i Gifford, 2002). Com a transformacions en principi regressives en el contingut de C del sòl tindríem a Catalunya la transformació de sòls forestals o pastures a camps de conreu. En canvi, l'abandonament de l'agricultura i la substitució dels conreus per vegetació subespontània, sovint boscos, o l'abandó de pastures i la seva substitució per matollars

espessos (procés conegut com a *emmatament*), en general comporten un augment del C del sòl.

La rompuda de sòls forestals, malgrat que sigui emmascarada a Catalunya per la tendència general a l'augment de la superfície boscosa, comporta a escala local una pèrdua neta de C cap a l'atmosfera. Aquest efecte és més gran si es té en compte que els sòls forestals que es rompen sovint es troben en zones planes, amb un bon desenvolupament d'horitzons orgànics. La transformació de pastures permanents a camps de conreu, tot i que és menys freqüent, també comporta una pèrdua neta de C del sòl. Caldrà esperar que els processos contraris (reforestació, pastures permanents) augmentin l'acumulació de C.

Tenint en compte que els sòls agrícoles són, d'una manera general, els que tenen un estoc de carboni més baix, l'abandonament agrícola i la colonització dels antics conreus per altres tipus de vegetació (matollars, prats, boscos) es tradueixen en general en un segrest net de carboni al sòl. La reforestació d'antics conreus abandonats és un fenomen generalitzat a moltes comarques, especialment quan el paisatge forma un mosaic d'usos, amb illes de bosc que coexisteixen amb zones de conreu o de pastura. La figura 11 il·lustra un exemple de la comarca del Bages, prop de Cardona, on antigues vinyes abandonades a partir de la dècada de 1960 han estat recolonitzades per pinedes de pinassa (*Pinus nigra*).

Bé que la reforestació tingui com a resultat el segrest net de carboni, hi ha detalls que cal tenir presents. Mentre que un bosc (plantat o subespontani) pot assolir un desenvolupament important en dècades (cinquanta anys, per exemple) i la capa de fullaraca es pot desenvolupar de manera força ràpida i arribar al nivell d'equilibri en poques dècades, l'acumulació de carboni en el sòl mineral és un procés molt més lent, de l'ordre de segles o fins i tot de mil·lennis. L'augment de carboni en el sòl mineral com a resultat d'una reforestació apareix sobretot en els primers centímetres. La visió de les capes de virosta al sòl, i de la terra bruna fosca dels primers centímetres d'un sòl forestal, pot donar una imatge molt exagerada de la capacitat dels sòls forestals d'acumular carboni.

També és important la diferenciació entre els efectes a llarg termini (gairebé sempre positius) i els efectes immediats, que poden ser negatius en molts casos. Si la reforestació es genera com a resultat d'una plantació forestal, que inclogui una preparació del terreny, desbrossament, llaurada o entrada dins el bosc de maquinària pesant, és molt probable que durant les primeres dècades el sòl perdi una part rellevant del seu estoc de carboni.

Els processos naturals de reforestació, en què no hi ha intervenció humana —o ben poca—, generen molts menys riscos en aquest aspecte.

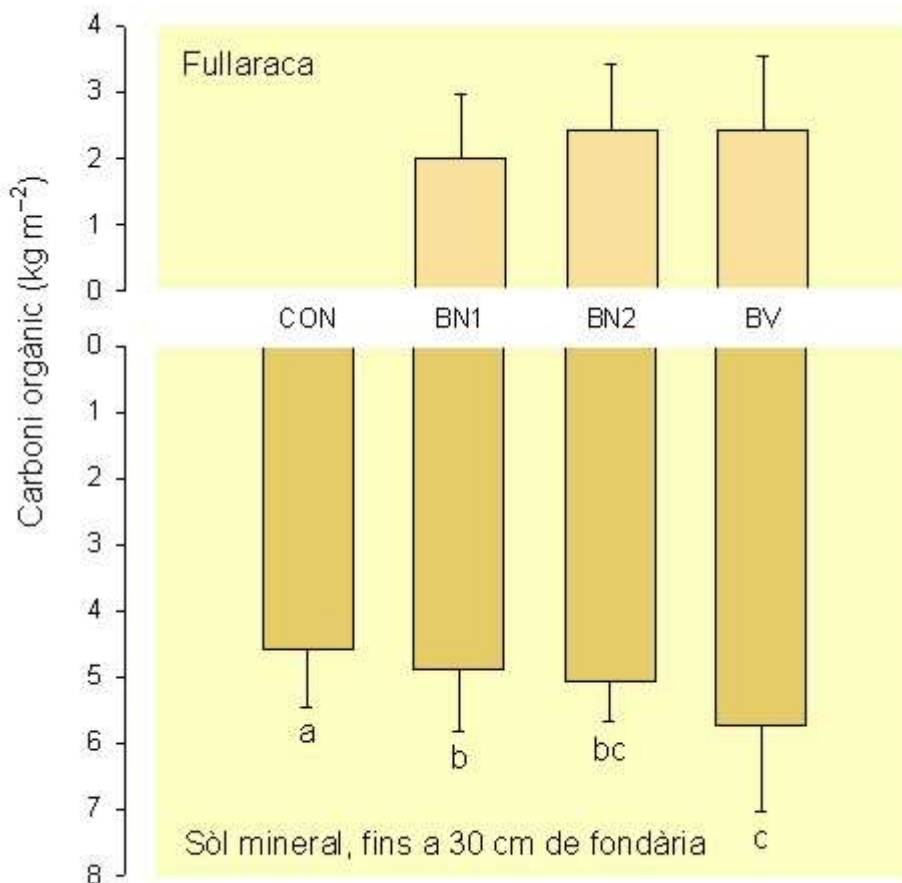


FIGURA 11. Estocs de carboni en la fullaraca i el sòl mineral fins a 30 cm de fondària, en funció de l'ús del sòl. Parcel·les experimentals a la vora de Cardona (Bages). CON: conreus actuals (cereal); BN1: bosc nou 1 (conreu abandonat a l'època 1956-1980, recolonitzat per pinassa); BN2: bosc nou 2 (conreu abandonat molt antigament, ja recolonitzat per pinassa el 1956); BV: bosc vell (mai cultivat, bosc de pinassa aparentment natural, ja ben desenvolupat el 1956). Lletres diferents indiquen diferències significatives a $P = 0,05$. Dades no publicades de P. Rovira.

L'emmatament (*encroaching*) és la colonització de pastures per comunitats arbustives, que poden formar mates extenses, espesses i sovint amb una gran capacitat d'expansió. És especialment rellevant en zones de muntanya, com a resultat de l'abandó de la activitat ramadera (fig. 12). Bé que alguns autors han esmentat que l'emmatament té com a resultat una disminució del estocs de carboni al sòl —perquè els sòls de prats

són reputats arreu del món com els més rics en carboni—, els estudis fets al nostre país, a la zona pirinenca, més aviat indiquen el fet contrari: l'emmatament origina un augment de l'estoc de C edàfic (Montané *et al.*, 2007).



FIGURA 12. Colonització de matoll sobre antigues pastures al Pirineu. Alta Ribagorça.

8. LA PERSPECTIVA INTERNACIONAL. CAP A UNA DIRECTIVA EUROPEA DE PROTECCIÓ DELS SÒLS?

La Unió Europea té una directiva sobre l'aigua i una altra sobre la qualitat de l'aire, però no en té, de moment, una directiva sobre els sòls. La Comissió va posar en marxa el 2006 una proposta de directiva marc sobre el sòl, que va ser adoptada pel Parlament Europeu i va estar vuit anys bloquejada al Consell d'Europa fins que va ser retirada el 2014. La proposta no va aconseguir una majoria qualificada dels països de la Unió. De fet, la proposta de directiva ha estat substituïda per l'Estratègia Temàtica del Sòl, adoptada el 2012. L'Estratègia no té caràcter legislatiu, però proposa principis comuns de protecció del sòl al territori de la UE, que després els estats membres decideixen com aplicar al seu territori. D'altra banda, el Setè Programa d'Acció Ambiental que es va endegar el 2014 mateix reconeix el repte de la degradació dels sòls i que ha de ser abordat més enllà de

les àrees que es degraden. Aquest programa pretén que el 2020 la terra es gestioni a la UE d'una manera sostenible, que el sòl sigui protegit adientment, que la recuperació dels sòls contaminats s'abordi efectivament i que els estats membres de la Unió augmentin els esforços per reduir l'erosió i augmentar la matèria orgànica del sòl. En definitiva, les possibles accions queden en mans dels estat membres, sense accions específiques a escala de la Unió.

Tanmateix, diverses polítiques europees contribueixen indirectament a la protecció del sòl en l'àmbit de l'agricultura, l'aigua, els residus, la pol·lució industrial... La política agrària comuna (PAC) afecta molt les pràctiques agrícoles, especialment els secans que ocupen gran part del territori agrícola. La reforma de la PAC ha deslligat de la producció els pagaments directes als agricultors i ha fomentat mesures agroambientals orientades a la protecció del medi ambient i del sòl. En l'àmbit forestal, la UE tampoc no té una política específica d'abast europeu. L'estratègia forestal de la UE desenvolupa un marc de referència per promoure una gestió sostenible dels boscos, considerant entre els seus objectius clau el de garantir el paper dels boscos i de la gestió forestal en la protecció del sòl, el control de l'erosió, la regulació hidrològica, el segrestament de carboni i la restauració dels boscos degradats. Tot comptat i debatut, a hores d'ara la protecció dels sòls s'aborda des de diverses polítiques sectorials i és en mans dels estats membres. Una política directa comuna de la UE segurament donaria un impuls a les estratègies existents que tenen poca implementació a la pràctica.

REFERÈNCIES

- BATALLA, R. J.; VERICAT, D. (2011). «A review of sediment quantity issues: Examples from the Ebro river and adjacent basins (Notheastern Spain)». *Integrated Enviromental Assessment and Management*, núm. 7 (2), p. 256-268.
- BECH, J.; HERNÁNDEZ, A. M. (1976). «Estudios sobre suelos y vegetación del Delta del Llobregat». *Collectanea Botanica*, núm. x, 4, p. 31-105.
- CANADELL, J. G.; QUÉRÉ, C. L.; RAUPACH, M. R.; FIELD, C. B.; BUITENHUIS, E. T.; CIAIS, P. *et al.* (2007). «Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 104, p. 10288-10293.
- COBO, R. (2008). «Los sedimentos de los embalses españoles». *Ingeniería del Agua*, núm. 15 (4), p. 231-241.
- CHAMORRO, L.; SAFONT, G.; BLANCO-MORENO, J. M.; ROMANYÀ, J.; ROTCHÉS-RIBALTA, R.; ARMENGOT, L.; SANS, F. X. (2017). La conversió a l'agricultura ecològica al Parc de l'Espai d'Interès Natural de Gallecs. Barcelona: DARPA, p. 36. [Dossier tècnic de Producció Agrícola Ecològica]
- COÛTEAUX, M. M.; BOTTNER, P.; ANDERSON, J. M.; BERG, B.; BOLGER, T.; CASALS, P.; ROMANYÀ, J.; THIÉRY, J. M.; VALLEJO, V. R. (2001). «Decomposition of ¹³C labelled standard plant material in a latitudinal transect of European coniferous forests: Differential impact of climate on the decomposition of soil organic mater compartments». *Biogeochemistry*, núm. 54, p. 147-170.
- EEA [European Environment Agency] (2012). *The State of Soil in Europe*. JRC Reference Reports. Report EUR 25186 EN.
- FUNES, I.; SAVÉ, R.; ROVIRA, P.; MOLOWNY-HORAS, R.; ALCAÑIZ, J.M.; ASCASO, E.; HERMS, I.; HERRERO, C.; BOIXADERA, J.; VAYREDA, J. (2019). Agricultural soil organic carbon stocks in the north-eastern Iberian Peninsula: Drivers and spatial variability. *Science of the Total Environment* 668, p. 283-294.
- GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. (2002). «Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis». *Global Change Biology*, núm. 8, p. 345-360.
- HERNANZ, J. L.; SANCHEZ-GIRON, V.; NAVARRETE, L. (2009). «Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions». *Agriculture Ecosystems & Environment*, núm. 133, p. 114-122.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2007). *Climate Change: The Forth*

- Assessment Report: Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KIRSCHBAUM, M. U. F. (1995). «The temperature-dependence of soil organic-matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic-C storage». *Soil Biology & Biochemistry.*, núm. 27, p. 753-760.
- MONTANÉ, F.; ROVIRA, P.; CASALS, P. (2007). «Shrub encroachment into mesic mountain grasslands in the Iberian peninsula: Effects of plant quality and temperature on soil C and N stocks». *Global Biogeochemical Cycles*, núm. 21, p. 1-10.
- MONTIJANO LUNA, V.; LUCENA SANTACREU, J. R. (2015). «Un territori d'aigua, aiguamolls i llacunes costaneres de Viladecans». A: *L'aigua, el territori i les persones: VII Trobades del Centre d'Estudis i d'Estudiosos d'Eramprunyà*. Gavà: Associació d'Amics del Museu de Gavà i Centre d'Estudis de Gavà, p. 149-152.
- ORGIAZZI, A. *et al.* (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. Joint Research Centre: Comissió Europea [en línia].
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/JRC_global_soilbio_atlas_online.pdf>.
[Consulta: 12 març 2019]
- POMÉS, J. (2001). *L'agricultura en la transformació de la comarca: Una panoràmica històrica de l'agricultura al Baix Llobregat (segles XVIII-XX)*. Sant Feliu de Llobregat: Consell Comarcal del Baix Llobregat.
- PORTA, J.; ALCANIZ, J. M.; CASTELLS, E.; CRUAÑAS, R.; DANÉS, R.; FELIPÓ, M. T.; SÁNCHEZ, J.; TEIXIDOR, N. (1985). *Història natural dels Països Catalans*. Vol. 3: Sòl. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- ROMANYÀ, J. (2016). «Ús i gestió del territori a la Mediterrània: Implicacions en la matèria orgànica del sòl». *L'Atzavara*, núm. 34, p. 25-34.
- ROMANYÀ, J.; ROVIRA, P. (2011). «An appraisal of soil organic C content in Mediterranean agricultural soils». *Soil Use and Management*, núm. 27, p. 321-332.
- SCHLESINGER, W. H. (1991). *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. San Diego, CA: Academic Press.