

LLETRES DE BATALLA

Els líquens epífits com a bioindicadors de l'estat de conservació dels boscos

Àngels Longán* & Antonio Gómez-Bolea*

Rebut: 17.06.02
Acceptat: 21.10.02

Resum

Des dels anys setanta del segle xx es coneix la utilitat dels líquens com a indicadors del que s'anomena la continuïtat ecològica del bosc. Ara bé, aquest i altres conceptes, com ara qualitat forestal o estat de conservació del bosc, són aplicats de manera diferent segons els diversos autors. En aquest treball definim aquests conceptes, així com altres termes que hi estan relacionats, exposem la problemàtica en aplicar-los en ecosistemes mediterranis i apuntem una proposta per a la seva utilització en aquest tipus de boscos. Finalment exposem les raons per les quals es fan servir els líquens epífits com a bioindicadors, així com les diferents metodologies emprades i les problemàtiques de la seva aplicació.

MOTS CLAU: líquens epífits, bioindicació, boscos, estat de conservació, qualitat forestal, naturalitat, continuïtat ecològica.

Abstract

Lichens as bioindicators of forest conservation status

Since the seventies, epiphytic lichens are being used as bioindicators of ecological continuity of forests. Nevertheless, different authors give different meanings to this and other concepts such as forest quality, or forest conservation status. In this work, we give definitions for these and other related concepts, deal with the problem of their application in Mediterranean ecosystems and we also give a proposal for this kind of forests. We explain the reasons why epiphytic lichens are used as bioindicators, the different methodologies used, and the problems for their application.

KEY WORDS: epiphytic lichens, bioindication, forests, conservation status, forest quality, naturality, ecological continuity.

Resumen

Los líquenes como bioindicadores del estado de conservación de los bosques

Desde los años setenta del siglo xx se ha puesto de manifiesto la utilidad de los líquenes epífitos

* Departament de Biologia Vegetal. Unitat de Botànica. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

como indicadores de la continuidad ecológica de los bosques. Sin embargo, éste y otros conceptos como los de calidad forestal o estado de conservación del bosque, son aplicados de manera diferente según los autores. En este trabajo definimos estos conceptos, así como otros términos relacionados, exponemos la problemática al aplicarlos en ecosistemas mediterráneos y apuntamos una propuesta para su utilización en este tipo de bosques. Finalmente exponemos las razones por las cuales se utilizan los líquenes como bioindicadores, así como las metodologías utilizadas y las problemáticas de su aplicación.

PALABRAS CLAVE: líquenes epífitos, bioindicación, bosques, estado de conservación, calidad forestal, naturalidad, continuidad ecológica.

Introducció

Els líquens són utilitzats com a indicadors de la qualitat ambiental dels boscos ja des dels anys setanta del segle xx, però la gran majoria de treballs d'Europa fan referència a boscos boreals o de tendència atlàntica, amb una manca de treballs referents a l'àrea mediterrània. La inexistència de treballs s'explica probablement per la dificultat de trobar boscos que puguin ser considerats ben conservats en aquest territori, tan intervingut per l'home. Com a conseqüència, en els països mediterranis trobem a faltar les eines que permetin una valoració de l'estat dels boscos, fet que encara es fa més evident a Catalunya, on la superfície arbrada arriba al 40 % (una de les més altes de la UE). Per tal d'efectuar una valoració d'aquest tipus cal definir primer què entenem per estat de conservació aplicat al territori mediterrani, i posteriorment trobar la metodologia adient per poder-la quantificar.

En el treball que presentem definim primer el que entenem per estat de conservació, per qualitat del bosc, i de tot un seguit de conceptes relacionats, utilitzats repetidament a la bibliografia, molt sovint de forma força confusa. Finalment analitzem les raons per les quals

els líquens poden servir com a bioindicadors de l'estat de conservació dels boscos.

La valoració dels boscos. Què entenem per estat de conservació?

Quan parlem de l'estat de conservació d'un bosc estem utilitzant un terme força intuïtiu per tal d'avaluar la seva qualitat des del punt de vista ecològic. Aquest terme té una aplicació precisa en el cas de les iniciatives per a la conservació de la natura, que tenen en el bosc verge el màxim exponent d'un bosc ben conservat, ja que manté totes o gran part de les espècies i els processos naturals originals. Per tant, parlar amb propietat de l'estat de conservació d'un bosc implica conèixer el seu estat actual i comparar-lo amb el d'un bosc verge, cosa difícil, si no impossible, a l'àrea mediterrània, on els boscos existents són resultat del seu aprofitament per l'home. Tot i així, hem decidit aplicar aquest terme perquè és el que més ràpidament permet relacionar el concepte de qualitat del bosc amb el d'ambient. Si parléssim només de qualitat forestal es podria interpretar des d'altres punts de vista, no estrictament ecològics, tal com veurem a continuació.

El concepte de qualitat forestal

Els usos fets dels boscos al llarg del temps han estat marcats per la situació socioeconòmica de cada moment, i lligats a la demanda de determinats productes. Així, durant la revolució industrial, els usos més tradicionals (llenya, pastures i fruits) quedaren relegats a un segon terme per la forta demanda de fusta per a la construcció i la fabricació de paper. Encara actualment la producció de fusta és un dels principals aprofitaments dels boscos,

especialment en regions del centre i nord d'Europa, on aquests són més productius, i per tant més rendibles. Això ha comportat tradicionalment una utilització del concepte de qualitat del bosc en termes de producció de fusta, aplicada tant en estudis de boscos boreals (Gustafsson *et al.*, 1992) com mediterranis (Gracia & Retana, 1996). Per exemple, Montoya (1993) classifica els boscos d'alzines en classes que denomina de qualitat alta, mitjana i baixa, segons la quantitat de llenya obtinguda per hectàrea i any. D'altra banda, Rojas (1999) quan parla de la qualitat dels boscos fa referència a la qualitat de la fusta. Seguint aquest criteri, a Catalunya tan sols tres espècies arbòries predominants donen fusta de qualitat (pi roig, pi negre i faig), deixant a part el cas especial de la sureda. Aquests arbres formen boscos que representen un 30 % del total dels existents a Catalunya.

Així doncs, no és d'estranyar que en les dades oficials referents a la superfície forestal, tant a Catalunya com a Europa, s'hagi considerat tradicionalment per igual totes les formacions arbrades, tant si corresponen a plantacions d'espècies d'interès comercial com si es tracta de boscos autòctons. Amb l'informe sobre l'estat dels boscos temperats «Forests in Trouble: a review of the status of temperate forests worldwide», editat el 1992 pel Fons Mundial per a la Natura (WWF), es va fer palesa l'escassa quantitat de boscos originals o seminaturals que hi ha a Europa, tot i el progressiu augment de la superfície forestal a causa de les plantacions monoespecífiques d'espècies exòtiques. Això va fer obrir un debat a Europa sobre la necessitat de definir el terme qualitat forestal per diferenciar-lo de quantitat de bosc. Ran d'això, Íbero & Dudley (1995) fixaren quatre criteris per tal d'avaluar la qualitat forestal:

1. L'autenticitat o la naturalitat, representa el grau d'aproximació d'una formació forestal al que seria el bosc natural de la zona. Es

defineix a partir de diversos elements, entre els quals figura la composició natural de plantes i d'animals, la presència de troncs morts, la continuïtat del bosc en l'espai i el temps, l'empremta de catàstrofes naturals (com restes de foc, arbres caiguts per acció de ventades i, de vegades, epidèmies que poden alterar l'estructura i composició del bosc), i l'ús de tècniques d'explotació tradicionals que imitin els processos naturals. El concepte d'autenticitat no està exempt de problemàtica, ja que es necessita per a la seva valoració un bon coneixement de la flora i fauna de la zona, tant de l'existent actualment com en el passat, el que suposa tenir boscos prou preservats des d'antic, per a servir de font de comparació, una cosa impossible en algunes parts del planeta.

2. La salut del bosc fa referència als danys soferts per l'ecosistema, especialment els ocasionats per l'home, com ara l'efecte de la contaminació sobre diversos components del bosc (entre altres organismes, els líquens).

3. Els beneficis ambientals dels boscos es concreten en els aspectes següents: conservació de la biodiversitat, protecció del sòl i de les conques hidrogràfiques, manteniment de les condicions climàtiques locals i en l'emmagatzematge de carboni.

4. Com a últim criteri tenim els altres valors econòmics i socials. Aquests serien els derivats de l'aprofitament industrial de la fusta i dels seus derivats, així com d'altres productes (fruits, plantes medicinals, pastures), de la seva utilitat com a font d'ocupació laboral, de l'ús recreatiu del bosc i del seu valor estètic, entre d'altres.

La proposta d'Íbero & Dudley (1995) és una de les poques que s'han fet sobre el tema a la península Ibèrica. Coneixem també la proposta de Prada & González (1998), per a valorar la qualitat ambiental dels boscos atlàntics peninsulars. L'objectiu d'aquesta última és donar un valor econòmic als serveis

ambientals del bosc, que actualment no proporcionen beneficis als propietaris forestals. Aquesta, a diferència de la dels autors anteriors, per a valorar la qualitat ambiental només té en compte el paisatge i la diversitat de vegetació i fauna, ja que els autors consideren que la resta de serveis són propis de tots els boscos (cicle de l'aigua, absorció de CO₂, etc.).

A Catalunya s'han realitzat també alguns treballs que fan referència, tant directa com indirecta, al concepte de qualitat forestal. Doñate (1999) remarca que la superfície de zona boscosa no és per si mateixa un índex de qualitat ambiental, al contrari del que indiquen d'altres autors, i considera que un bosc correctament gestionat és aquell que conserva i millora la qualitat forestal segons els criteris esmentats per Íbero & Dudley (1995). Mestres (1999) utilitza el concepte de naturalitat com un dels criteris a tenir en compte en l'avaluació de la qualitat del sistema natural de les muntanyes de Prades. I, per últim, Boada & Zahonero (1999) indiquen que una de les fórmules proposades per a fer un diagnòstic de la qualitat ambiental d'una regió natural consisteix en mesurar la biodiversitat.

A l'hora d'avaluar la qualitat d'un bosc, podem fer-ho a partir d'un únic criteri o bé de més d'un dels exposats anteriorment. En la literatura, un dels més emprats és el de naturalitat, però l'aplicació d'aquest criteri es fa des de punts de vista molt diversos, cosa que fa que sigui un concepte força controvertit. A continuació ens centrarem en aquest criteri de qualitat, i intentarem sintetitzar i uniformitzar la informació relativa a aquest tema, que és força dispersa.

El concepte de naturalitat

Sovint trobem referències al concepte de naturalitat que ja hem definit anteriorment, però són molts els termes que s'han utilitzat

per designar-lo, i no sempre ha estat delimitat clarament.

Tot sovint es qualifiquen els boscos amb diversos adjectius que fan referència a l'edat o al grau d'alteració produït per l'home i que, de fet, no són altra cosa que indicadors del grau de naturalitat del bosc. Així, es parla de boscos vells (Peck & McCune, 1997; Ohlson *et al.*, 1997), antics (Goward, 1994a i b), naturals (Halonen *et al.*, 1991), seminaturals (Rose, 1992) o madurs (Rose, 1976 i 1992; Etayo & Gómez-Bolea, 1992). Tots aquests termes són força ambigus, i el seu significat varia segons els autors, tal com ja constaten Schuck *et al.* (1994) i Íbero (1995).

La definició de bosc verge potser és la menys ambigua, i fa referència a boscos on l'home no ha intervingut mai o, almenys, no hi ha evidències de la seva intervenció. De vegades, també s'ha fet referència a aquests boscos com a boscos primaris. Aquesta definició no implica necessàriament un estadi avançat de successió, sinó que podem trobar diferents estadis de successió dins d'un mateix bosc verge.

Un altre concepte, el de bosc vell, també és força subjectiu, especialment aplicat a Europa. Segons Íbero (1995), un bosc es pot considerar vell quan ha existit de forma continuada com a mínim durant tres-cents o quatre-cents anys, amb presència actual d'arbres d'aquesta edat, mentre que per a Gustafsson *et al.* (1999), a Suècia un bosc pot ser considerat vell quan té una edat superior al temps de rotació de la tala (de seixanta a cent deu anys en aquest cas). Aquest terme, però, s'ha emprat més a Amèrica del Nord, on s'utilitza com a sinònim de bosc natural i, per tant, implica no només una certa edat del bosc, sinó també la inexistència d'intervenció humana durant centenars d'anys. Als Estats Units, l'United States Department of Agriculture Forest Service defineix els atributs per a descriure un bosc vell, com ara l'existència d'arbres de més de dos-cents anys, de soques velles i de fusta morta,

la presència d'una estructura irregular o l'abundància d'epífits (Schuck *et al.*, 1994; Ward, 1993). Aquestes característiques són indicadores d'estadis avançats en la successió de la comunitat forestal.

El terme de bosc natural també és força controvertit. Sovint és considerat com un sinònim de bosc verge, però alguns autors donen una definició que permet un cert grau d'influència humana en el passat. En l'informe editat per l'ONU l'any 2000, *Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand*, es fa referència al terme de bosc natural, com aquell bosc que s'assembla el més possible al bosc original de la zona. En aquest informe es comenta la dificultat d'encaixar els boscos actuals en aquesta categoria, ja que implica conèixer com eren els boscos originals, i per això, en l'informe, es fa servir el terme de bosc no pertorbat per l'home com a aproximació al concepte de bosc natural. La definició és rigorosa: són boscos sense alteracions ocasionades per l'acció de l'home, des de tan antic que els processos naturals s'han restablert. Cal no confondre aquest concepte amb el de bosc no gestionat, que no té com l'anterior una connotació temporal, i pot fer referència tant a un bosc vell com a un de jove.

Els boscos que no encaixen en la definició anterior, tot i semblar naturals, es classifiquen com a boscos seminaturals. Aquests serien els que conserven bona part de les seves característiques naturals, tot i haver patit alteracions en el passat (per exemple, boscos antigament gestionats que van ser abandonats fa temps) o en el present (boscos amb usos tradicionals que permeten processos ecològics similars als naturals). Aquest terme s'ha utilitzat especialment a Gran Bretanya, però el seu ús s'ha estès posteriorment pel continent europeu. De fet, la majoria dels boscos europeus s'englobarien en aquesta categoria.

Un altre adjectiu habitual aplicat als boscos és el de madurs. Aquest concepte, en principi,

fa referència al bosc que ha assolit una certa edat, de manera que, de vegades, pot assimilar-se al concepte de bosc vell. Cal recordar però que a Amèrica el concepte de bosc vell és sinònim de bosc natural; Spies (1991) i Glenn *et al.* (1998) parlen d'un bosc madur i gestionat, amb la qual cosa queda clar que el terme madur fa referència només a l'edat del bosc.

El concepte de continuïtat ecològica

A banda dels adjectius comentats aplicats als boscos, un dels termes més utilitzat en la literatura sobre líquens, per referir-se al grau de naturalitat d'un bosc, és el de continuïtat ecològica.

Aquest concepte es dona a conèixer en el món de la liquenologia a Anglaterra a partir dels treballs de Rose (1976). Aquest autor considera el concepte de continuïtat ambiental o ecològica com la persistència en l'espai i el temps de la coberta vegetal, conseqüència de dos factors: l'edat del bosc i la seva història (grau de presència d'activitat humana). Rose (1976) considera boscos amb llarga continuïtat ecològica aquells que són madurs o vells, amb una existència històrica documentada almenys des de l'edat mitjana i que no han estat explotats, com a mínim, durant els darrers segles. D'aquesta manera el concepte de continuïtat ecològica s'apropa molt al de boscos no pertorbats per l'home (com una estimació de bosc natural), explicat anteriorment. Tibell (1992) també defineix com a bosc de llarga continuïtat ecològica aquell que ha estat sense pertorbar durant un llarg període de temps; concepte que també és recollit per Diederich (1991) amb el terme de continuïtat històrica. La relació entre continuïtat i grau de pertorbació de l'ecosistema queda encara més ben reflectida en un altre terme utilitzat com a sinònim de continuïtat ecològica, el d'estabilitat ecològica.

ca (Etayo & Gómez-Bolea, 1992; Wolseley *et al.*, 1994; Martínez & Aragón, 1996). Tot i que els conceptes de continuïtat i estabilitat ecològica poden tenir alguna diferència de matís, nosaltres en farem un ús indistint, i els considerarem com a sinònims de naturalitat per facilitar la comparació entre estudis que utilitzen termes diferents, i que en realitat versen sobre el mateix tema.

Alguns autors fan una distinció entre el que seria la continuïtat històrica de tot el bosc, i la continuïtat de l'hàbitat arbori, especialment dels arbres vells (Rose, 1992; Ward, 1993; Selva, 1996). Aquesta diferenciació és necessària en aquells casos en què un bosc vell no té arbres vells; per exemple: boscos vells de rebrot explotats des d'antic, en els que la continuïtat de la coberta resta assegurada, però els curts torns de tala no permeten el manteniment d'arbres vells. En aquest cas, el concepte de continuïtat històrica ja no va tan lligat al de naturalitat, ja que admet perturbacions al bosc.

Altres autors han utilitzat el terme d'integritat biològica, un terme que resulta per si mateix també força confús. Segons Rodà (2000), aquest fa referència a si les espècies d'una comunitat són les que hi trobaríem normalment, és a dir, si són autòctones. En aquest sentit, pot ser considerat com a terme sinònim de naturalitat. Segons la definició de 1994 d'Angermaier i Karr (Hansson, 2000) i en opinió de Wilkinson (2000), la integritat ecològica comporta el mantenir viables tant poblacions d'espècies natives com els processos ecològics. Aarts (2000) especifica, a més a més, que dins d'aquest concepte s'ha d'incloure l'ús sostenible dels ecosistemes. De fet, aquest autor exposa una definició força antropogènica del concepte d'integritat ecològica, que defineix com: capacitat de l'ecosistema de suportar tots aquells serveis que són d'algun valor per a l'ésser humà; una definició que contrasta amb les anteriors. Final-

ment Glenn & Webb (1997) parlen d'integritat forestal com sinònim de continuïtat ecològica.

El concepte de naturalitat a l'àrea mediterrània: problemàtica

Com hem pogut veure anteriorment, els estudis de recerca forestal i la majoria dels treballs sobre continuïtat ecològica o similars s'han realitzat a Amèrica del Nord i en certes zones d'Europa, principalment països nòrdics o centroeuropeus, on és possible trobar en alguns casos boscos inalterats durant segles, i que, per tant, es consideren naturals. A la conca mediterrània, però, no disposem d'estudis concrets de continuïtat ecològica. És possible que això obeeixi al fet de que aquí és difícil, si no impossible, trobar boscos sense vestigis de l'empremta humana. A Catalunya, per exemple, els estudis d'ecologia forestal més importants en alzinars s'han fet en boscos que van deixar d'explotar-se fa tan sols seixanta anys. Per tant, és possible parlar de bosc natural en el cas mediterrani?

El paisatge vegetal a la regió mediterrània no pot ser entès sense tenir en compte la presència de l'home al llarg de la seva història. Des del Neolític, l'home ha estat un component més d'aquests ecosistemes. De fet, la presència humana a la Mediterrània és anterior fins i tot a l'aparició de les formacions vegetals esclerofil·les actuals (Folch, 1993). L'efecte modelador de l'home en el paisatge és evident, especialment a la conca mediterrània, on l'alta concentració de població en poc territori provoca una explotació intensiva dels recursos. Aquesta forta interacció de l'home amb el medi des de tan antic fa que diversos autors es qüestionin si el bosc natural a la Mediterrània no ha de tenir en compte l'acció humana.

El concepte teòric de bosc natural s'assimila al concepte de clímax, que es defineix

com la vegetació final en la successió d'una comunitat vegetal, que s'estableix als indrets de condicions normals, sobretot a nivell climàtic i edàfic (Masalles & Vigo, 1987). Això implica l'absència de pertorbacions humanes. Alguns ecòlegs, però, prefereixen referir-se a la maduresa relativa de la comunitat, per assenyalar-ne la posició al llarg del procés de successió, sense parlar de l'hipotètic estadi final, que és vist com una concepció abstracta i bucòlica de la natura (Terradas, 1987). Cerrillo (2000) destaca l'opinió de M. Boada en aquest sentit, que considera un mite la intocabilitat del paisatge, ja que no tenim referències de com era el paisatge abans de la intervenció de l'home. Terradas (1996) fa una reflexió sobre l'entelèquia dels boscos naturals mediterranis i exposa el fet que la intervenció humana al bosc és fins i tot necessària per mantenir una situació similar a l'original, en substitució de l'acció que efectuaven els grans animals, avui desapareguts, fa milions d'anys.

A vegades, quan l'home deixa d'intervenir, no es retorna a una situació natural, sinó a una de secundària, de tal manera que el manteniment d'àmplies àrees boscoses es pot explicar en part per la seva explotació tradicional, de tipus sostenible, més que no pas per la seva regeneració natural (Terradas, 1996; Rojas, 1999). Per exemple, en el cas dels ecosistemes mediterranis on les pinedes i les brolles han substituït l'alzinar, la gestió basada en l'evolució espontània de la vegetació no ha de comportar necessàriament una recuperació d'aquests alzinars, a causa de la manca de llavors que fa difícil la recolonització. Tanmateix, dins d'una concepció idíl·lica del bosc, basada en paisatges imaginaris de zones verges sense l'empremta de l'home, una de les opcions per a la conservació dels boscos fóra el seu abandonament, la transformació dels espais arbrats en àrees salvatges, gestionades per la mateixa natura. Segons Rojas (1999), això no és possible als països de colonització antiga, com

els mediterranis, on l'actuació de l'home en el medi i els drets de propietat obliguen a aplicar unes estratègies de conservació diferents a la dels països de nova colonització, on hi ha extenses regions salvatges en àrees poc poblades, i on el propietari sol ser l'estat. M. Boada, in: Reales (1999) afirma també que el mite de la intocabilitat en el cas mediterrani no és desitjable, ja que un increment de la superfície forestal redueix la biodiversitat, com a conseqüència de la pèrdua d'hàbitats i dels organismes que hi viuen.

A la Mediterrània, per tant, no es pot defugir el paper de l'home com a element transformador del medi. És evident que s'ha de donar un enfocament diferent al concepte de naturalitat, si se'n vol fer ús.

En aquest sentit, una de les possibles vies d'actuació seria la delimitació en els diferents ecosistemes forestals de parcel·les de bosc considerades com a millor conservades, segons uns criteris adequats a la realitat de l'àrea mediterrània, i en particular de Catalunya. Aquestes parcel·les ens permetrien tenir uns models actuals de comparació i també fixar les bases d'actuació en un futur. L'establiment dels criteris de qualitat és una tasca difícil, que implica la reunió de diferents agents socials i l'establiment d'una xarxa de bioindicadors per quantificar els criteris ambientals. En l'apartat següent parlarem de l'ús dels líquens com a bioindicadors de l'estat de conservació dels boscos i de les raons que els fan adequats per a aquest propòsit.

Els líquens com a bioindicadors de la qualitat forestal

Els líquens poden ser indicadors d'almenys tres dels quatre criteris assenyalats per Íbero & Dudley (1995) per definir la qualitat d'un bosc: la salut, la biodiversitat i la naturalitat del bosc.

Indicadors de la salut del bosc

L'ús dels líquens en aquest sentit, ha obert moltes línies de recerca arreu del món, especialment en el camp del monitoratge ambiental (Seaward, 1996; McCune, 2000). Un exemple d'aplicació forestal el trobem en el Programa PanEuropeu per al Monitoratge Intensiu dels Ecosistemes Forestals (IMP), un estudi internacional patrocinat per la UE, sobre els efectes de la contaminació als boscos, en el que s'ha incorporat darrerament els líquens epífits com a indicadors (Calatayud *et al.*, 2000). Als Estats Units, els líquens estan inclosos com a indicadors de la salut forestal dins del programa Forest Health Monitoring, finançat per l'US Forest Service i la US Environmental Protection Agency entre altres institucions (Tallent-Halsell, 1994; McCune *et al.*, 1997a i b; McCune, 2000).

Indicadors de biodiversitat

En la darrera dècada, termes com ara biodiversitat i sostenibilitat han esdevingut de gran importància per a la biologia de la conservació, la gestió forestal i, fins i tot, fora de l'àmbit científic, en l'àmbit social i polític. Només cal veure l'increment progressiu que des del 1985 s'ha donat en el nombre de publicacions que duen el terme biodiversitat al títol, especialment a partir de l'any de la celebració de la Conferència de les Nacions Unides per al Medi Ambient i el Desenvolupament (Rio de Janeiro 1992) (Schuck *et al.* 1994). A Europa, és a partir de la segona Conferència Ministerial per a la Protecció dels Boscos a Europa, celebrada a Helsinki l'any 1993, que s'han promogut accions encaminades a la gestió sostenible dels boscos i la conservació de la biodiversitat.

El terme biodiversitat, tot i ser força usat, té múltiples definicions. La més acceptada és

la que es va donar a la Convenció sobre la Diversitat Biològica el 1992: «la variabilitat entre els diversos organismes vius de tot origen, inclosos *inter alia*, els terrestres, els marins o els d'altres ecosistemes aquàtics, així com els complexos ecològics dels que formen part; s'hi inclou la diversitat en les espècies, entre les espècies i entre els ecosistemes» (Hawksworth & Aguirre-Hudson, 1995). La frase «els complexos ecològics dels quals formen part» ha portat a donar una interpretació de la biodiversitat no tan sols com a variabilitat biòtica, sinó també abiòtica. Això queda reflectit en la frase «avui no es tracta de conservar coses, es tracta de conservar processos» (Terradas, 1995). Aquesta visió de la biodiversitat no és compartida per tots els científics: Gustafsson (2000), per exemple, la considera només en el sentit de diversitat d'organismes vius.

Una de les característiques comunes a tot tipus d'ecosistema forestal estable és la diferenciació interna del bosc en diversos hàbitats (diferents estrats de vegetació, llocs amb acumulació de matèria morta, diferents graus de descomposició de la fusta, etc.). Aquesta diferenciació és la responsable tant de la continuïtat dels processos de l'ecosistema com de la riquesa, diversitat i especificitat de la composició d'espècies (Falinski, 1995). És per això que un primer pas per caracteritzar els boscos consisteix en trobar la manera d'estimar aquesta biodiversitat. Amb aquest objectiu, l'Institut Forestal Europeu (EFI) va començar, l'any 1993, un projecte encaminat a detectar els indicadors de biodiversitat en boscos naturals per a la seva aplicació pràctica en la gestió forestal. En aquesta mateixa línia, la Comissió de les Comunitats Europees finança, actualment, el projecte Indicadors per al Monitoratge i l'Avaluació de la Biodiversitat Forestal a Europa (projecte BEAR), amb l'objectiu de reconèixer els indicadors de biodiversitat forestal en un ampli rang de regions biogeogràfiques europees (Hansson, 2000).

Per a l'estimació de la biodiversitat a partir de la riquesa específica d'un grup d'organismes, els líquens reuneixen diverses característiques que els fan avantatjosos per ser usats com a indicadors. D'una banda, són relativament petits amb relació a l'estructura tridimensional del bosc. La diversitat específica de diferents grups d'organismes del bosc varia segons la seva ocupació de l'espai forestal, en relació amb la seva mida (McCune & Antos, 1981), ja que organismes més petits dels estrats inferiors del bosc poden trobar més varietat de nínxols dins d'una mateixa àrea que altres organismes més grans, com per exemple els arbres. I de l'altra, els líquens ocupen nínxols ecològics molt diversos dins del bosc, des d'hàbitats ombrívols del sotabosc fins a zones il·luminades de les branques superior o fusta en descomposició. Per tant, una alta diversitat en espècies líquèniques és indicadora d'una alta diversitat d'hàbitats, susceptibles també de ser ocupats per altres organismes. A més a més, en boscos prou vells, com és el cas dels del nord-oest d'Amèrica, els líquens són abundants i formen part de la cadena alimentària de certs mamífers i invertebrats (Ward, 1993) amb la qual cosa la seva diversitat implica també major diversitat d'altres grups d'éssers vius. Altres característiques que els fan avantatjosos com a indicadors, serien el fet que es poden trobar en àrees geogràfiques, la seva especialització de l'hàbitat i la seva sensibilitat als canvis del medi, que impliquen també canvis en els altres organismes. En realitat, aquestes característiques són considerades per Pearson (1994) com a criteris per valorar si un tàxon pot ser considerat com un bon indicador de la biodiversitat. Els líquens compleixen en gran mesura aquests criteris.

Si incloem en el concepte de biodiversitat els processos dels ecosistemes, els líquens són una part no menyspreable de la biodiversitat forestal; per exemple, juguen un paper

important en la fixació de nitrogen i en el cicle d'altres nutrients (Galloway, 1995; Knops *et al.*, 1996; Esseen *et al.*, 1996). En qualsevol cas, i el que és més important, els líquens són bons indicadors perquè reflecteixen els canvis de l'ecosistema, que tard o d'hora incideixen en els seus processos. Gràcies a la seva sensibilitat, poden fer-se servir com a senyal d'alerta d'incidències en el medi (contaminació, explotació excessiva, etc.) abans que aquests canvis afectin també altres organismes (Seaward, 1996).

Segons Hansson (2000), aquelles espècies que es troben en els boscos vells i que resulten afectades per pertorbacions en el medi, poden resultar indicadores de la biodiversitat «original» d'aquell bosc. Això implica una visió de la biodiversitat en termes històrics, que la relaciona amb el concepte de continuïtat ecològica: un indicador de la biodiversitat original d'un bosc és un indicador del seu grau de maduresa i d'alteració. Per això, quan es parla d'indicadors de biodiversitat de boscos naturals o boscos vells, aquest concepte coincideix en realitat amb el d'indicador de continuïtat ecològica. Això porta a confusions, perquè, essent els dos conceptes diferents, estan íntimament lligats i, en els treballs publicats, moltes vegades se'n fa un ús indiscriminat, sense precisar-ne la definició.

Indicadors de la naturalitat del bosc

Tot i que el terme de «bosc no pertorbat» com a aproximació al de «bosc natural» està ben definit en l'informe *Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand*, editat per l'ONU l'any 2000, en aquest mateix informe es plantegen encara algunes preguntes bàsiques sense resoldre: des de quan no hi ha d'haver intervenció per part de l'home per considerar que un bosc

és natural? Quina ha de ser l'àrea mínima d'un bosc que compleixi aquestes condicions? i, el que és més important, com s'identifiquen aquests boscos? Una de les maneres de fer-ho és a través dels indicadors de la naturalitat del bosc. Però altre cop ens plantejem una pregunta: quins poden ser aquests indicadors? Per trobar una resposta, cal no oblidar les dues característiques bàsiques d'un bosc natural: la seva antiguitat i l'absència d'activitat humana al llarg de la història. D'aquesta manera, un bon indicador ha de ser sensible als canvis produïts en l'ambient a causa de l'activitat humana. Els líquens compleixen aquest requisit. Són uns organismes molt sensibles tant a la destrucció d'hàbitats com a l'alteració del medi; des d'antic es coneix la seva sensibilitat als contaminants atmosfèrics, documentada per una llarga llista de publicacions sobre el tema, que els ha portat a ser considerats els indicadors de la contaminació atmosfèrica per excel·lència. Però, a més a més, en general són més vulnerables a l'alteració de l'hàbitat forestal que moltes altres plantes (Spies, 1991; Brown *et al.*, 1994). Un exemple clar d'això és que en plantacions i zones reforestades la diversitat líquènica es veu dràsticament reduïda i la composició d'espècies alterada, comparat amb zones naturals; fet que s'ha apreciat en llocs tan diferents com Austràlia (Brown *et al.*, 1994) i Suïssa (Camenzind & Wildi, 1991).

Les comunitats de líquens epífits d'un bosc estan controlades per interaccions complexes entre factors ambientals, dins d'un gradient temporal de successió de la comunitat. El substrat és un dels factors que més incideix en la composició de les comunitats líquèniques (Hyvärinen *et al.*, 1992; Bricaud & Roux, 1994; Gauslaa, 1995; Holien, 1997; Fos, 1998), juntament amb els paràmetres microclimàtics relacionats clàssicament amb la llum i la humitat (Abbasi-Maaf & Roux, 1986; Halonen *et al.*, 1991; Spies, 1991; Bates, 1992; Burgaz *et al.*, 1994; Bricaud & Roux, 1994; Goward,

1994a; Hébrard *et al.*, 1995; Fuertes *et al.*, 1996; Esseen *et al.*, 1996; Glenn & Webb, 1997; Lücking, 1999; Wolseley & Pryor, 1999). Aquestes condicions microclimàtiques estan molt lligades a l'estructura del bosc (McCune & Antos, 1982; Lesica *et al.*, 1991; Holien, 1997; Wolseley & Aguirre-Hudson, 1997).

Aquests dos darrers factors, substrat i microclima, són determinants per a la flora líquènica epífita dels boscos naturals. D'una banda, la presència de substrats que no poden trobar-se en boscos joves o fortament explotats, com ara fusta amb diferent grau d'alteració, fa que els boscos naturals siguin refugi de certes espècies líquèniques que no es troben enlloc més. Un exemple clàssic són les espècies de Calicials (Tibell, 1992 i Selva, 1994). I de l'altra, els boscos vells creen un microclima que difereix del clima general, amb atenuació de temperatures i augment de la humitat ambiental, fins al punt que boscos de zones climàtiques diferents poden tenir microclimes similars (Tibell, 1992). A més a més, com ja hem dit abans, un bosc natural no ha d'haver sofert alteracions en el passat. Això fa que dins d'aquests boscos no tan sols les condicions microclimàtiques són diferents a les de l'exterior, sinó que a més romanen més estables en el temps; això és el que s'anomena estabilitat ambiental (Goward, 1994b). Certes espècies de líquens es troben associades a aquestes característiques dels boscos naturals. Són aquestes espècies molt sensibles als canvis de l'entorn, que es veuen fortament afectades si al bosc hi ha intervenció humana i poden ser considerades, per tant, com a indicadores de la naturalitat del bosc.

Estudis d'indicadors líquènics de la continuïtat ecològica

Rose (1976) és el primer autor que proposa un índex de continuïtat ecològica basat en un

conjunt d'espècies líquèniques indicadores. Es centra en un estudi dels líquens a cent dos boscos anglesos, en el que té en compte la densitat d'espècies (nombre d'espècies per km²); l'abundància d'espècies, tant en termes de freqüència al total d'arbres, com en valors de recobriment; i la presència particular de certes espècies. Per la majoria dels boscos estudiats es coneixien dades històriques sobre el grau de continuïtat de la coberta vegetal i el tipus d'explotació exercida sobre ells en el passat. Alguns, com ara el New Forest (Hampshire) es van classificar com a boscos vells d'origen medieval, no explotats en els darrers segles. Com a primer resultat, aquest autor va posar en evidència que en aquests boscos vells la densitat d'espècies és de 120-150 per km², mentre que en els boscos explotats és només de 40. Això demostrà una relació negativa entre la densitat d'espècies i el grau d'alteració del bosc. D'altra banda, Rose (1976) va detectar l'existència d'un grup d'espècies particularment sensibles als canvis en l'ambient forestal, la presència de les quals indicava continuïtat de l'ambient: són les anomenades espècies fidels a boscos vells. Trenta d'aquestes espècies varen ser seleccionades per calcular l'índex RIEC (Revised Index of Ecological Continuity), un índex que amplia un d'anterior creat pel mateix autor (Index of Ecological Continuity). El RIEC es calcula a partir de la fórmula següent:

$$\text{RIEC} = (n / 20) \times 100$$

Si en un bosc es troben 10 de les 30 espècies de líquens fidels a boscos vells, es considera provada la seva llarga continuïtat ecològica, mentre que el valor màxim de continuïtat s'assoleix amb la presència de 20 d'aquestes espècies. Molts dels líquens considerats com a indicadors per Rose (1976) pertanyen a l'aliança *Lobarion pulmonariae*. Posteriorment, altres estudis demostren també la presència

de *Lobaria pulmonaria* lligada a boscos vells (Bates, 1992; Gauslaa, 1995).

Després de la proposta de l'índex RIEC, altres autors l'han modificat per adaptar-lo a regions diferents a les estudiades per Rose. Wolseley & O'Dare (1990) l'utilitzen per a una zona concreta d'Anglaterra. Diederich (1991) en fa una adaptació pel territori luxemburguès, on manté 8 de les espècies considerades indicadores a Anglaterra i n'afegeix 14 de noves. L'autor considera que amb la presència d'un terç de les 22 espècies de la llista queda provada una llarga continuïtat del bosc. A Suïssa, Camenzind & Wildi (1991) no proposen un índex concret, però fan referència a l'índex RIEC i elaboren una llista d'espècies indicadores de continuïtat en els boscos alpins. A Suècia, Tibell (1992) proposa un índex de llarga continuïtat en boscos boreals anomenat Indicator Species Index of Forest Continuity (ISIFC). L'índex ISIFC es basa en una llista de 20 espècies escollides com a indicadores de entre les 190 trobades en quinze boscos de coneguda continuïtat, i es calcula com el percentatge d'espècies indicadores en una àrea concreta. També a Suècia, Gustafsson *et al.* (1992) fan una altra modificació del RIEC que apliquen a boscos planifolis del sud del país, amb una llista de 36 espècies, de les quals la presència de 24 és necessària per assolir el valor màxim de l'índex. Rose (1992), en una ampliació de l'índex original, defineix l'índex NIEC (New Index of Ecological Continuity), que pot ser utilitzat en bona part de Gran Bretanya, a l'oest de Noruega i de França, fins als Pirineus de Navarra, zones totes elles de clima oceànic. El NIEC es calcula com el nombre d'espècies presents d'una llista de 70 espècies. Si el NIEC es calcula a partir d'una llista més llarga, amb 38 espècies més, aleshores es pot fer servir, no tant per estimar l'edat i grau d'alteració del bosc, sinó també la seva importància en termes de conservació. A l'est d'Amèrica del

Nord, Selva (1994 i 1996) fa una proposta d'índex de continuïtat i, en aquest cas, fa una distinció entre les espècies indicadores en boscos d'angiospermes i les indicadores en boscos de gimnospermes. A la península Ibèrica, Etayo & Gómez-Bolea (1992) fan també una proposta de RIEC per a rouredes cantàbriques. L'índex es basa en una selecció de 30 espècies indicadores, 10 de les quals coincideixen amb les del RIEC original. A part d'aquest treball, a la península Ibèrica només coneixem dues propostes més d'índexs de continuïtat ecològica, que són treballs inèdits: la primera és la proposta de Sarrión (2001) de modificació de l'índex NIEC de Rose, aplicada als boscos de Sierra Madrona (Ciudad Real). Aquest autor proposa l'índex ICEM (Índice de Continuidad Ecológica de Sierra Madrona) que es basa en 18 espècies seleccionades com a indicadores de continuïtat en aquests boscos. Finalment, s'ha proposat un índex líquènic de qualitat forestal (IL) (Longán, 2002), pels alzinars de Catalunya, en base a 34 tàxons líquènics considerats indicadors d'un bon estat de conservació d'aquests ecosistemes. Aquest últim índex no correspon a una modificació del RIEC, sinó que es basa en una proposta realitzada a partir d'un treball amb metodologia original.

El concepte de continuïtat ecològica en els estudis d'indicadors líquènics: problemàtica

És important destacar, com hem posat en evidència, que el terme continuïtat va molt lligat al de naturalitat. Per aquesta raó alguns autors han advertit de l'ús abusiu que s'ha fet del que s'anomena bosc de llarga continuïtat ecològica, ja que, si bé l'impacte humà recent es pot estimar a partir de l'estructura present del bosc, els impactes anteriors només es poden

conèixer amb les dades històriques o estudis palinològics (Kuusinen, 1996b). Ohlson *et al.* (1997) fan una crítica a la majoria d'aquests treballs, ja que afirmen que s'assignen graus de continuïtat ecològica sense conèixer la història exacta del bosc ni determinar l'escala temporal i que, per tant, es suposen correlacions sense coneixement concret de les relacions causals. Aquests autors demostren que àrees de bosc amb una estructura i composició florística que indiquen condicions naturals, fa cinc-cents anys eren zones de cultiu. També incideix en el fet que s'ha infravalorat la importància del foc en zones boreals, que ha ocasionat històries de continuïtat molt diferents entre zones que actualment tenen estructura i història recent similars. Això implica que un ús estricte del terme de continuïtat ecològica va lligat a un coneixement de la història del bosc, moltes vegades obviada en aquests tipus d'estudis.

És potser per aquesta raó que, tot i que en l'última dècada hi ha hagut una proliferació de treballs d'ecologia de líquens en ambients forestals, molts d'aquests estudis no fan referència explícita a índexs de continuïtat o d'estabilitat ecològica, tot i versar sobre aquest tema. Molts d'aquests treballs, que s'han realitzat en boscos de coníferes d'Amèrica del Nord (Lesica *et al.*, 1991; Spies, 1991; McCune, 1993; Goward, 1994b; Glenn & Webb, 1997; Glenn *et al.*, 1998; McCune *et al.*, 2000), en boscos boreals del nord d'Europa (Halonen *et al.*, 1991; Hyvärinen *et al.*, 1992; Kuusinen, 1994a, b i 1996b; Holien, 1996; Esseen *et al.*, 1996; Ohlson *et al.*, 1997; Hazell & Gustafsson, 1999; Kivistö & Kuusinen, 2000) i, en menor proporció, en l'àrea mediterrània (Molina & Probanza, 1992; Burgaz *et al.*, 1994; Fuertes *et al.*, 1996; Hernández *et al.*, 1998) demostren que les estacions forestals de boscos joves i explotats, comparades amb d'altres de boscos vells, presenten una menor abundància d'epífits, en termes de biomassa o recobriment i

diferent composició florística. En alguns d'aquests treballs s'alerta del perill d'extinció d'espècies líquèniques a causa de les pràctiques forestals (Lesica *et al.*, 1991; Goward, 1994a i b; Esseen *et al.*, 1996; Rosso *et al.*, 2000) i també es fan diverses recomanacions per millorar la gestió dels boscos amb la finalitat de preservar la diversitat líquènica. Entre aquestes recomanacions destaquem: incrementar el temps de rotació (Esseen *et al.*, 1996; Holien, 1997), deixar sense tallar arbres vells per tal que serveixin com a font de propàguls (Spies, 1991; Neitlich & McCune, 1997; Peck & McCune, 1997) i conservar els substrats susceptibles de sostenir la màxima diversitat líquènica (Gustafsson *et al.*, 1992; Kuusinen, 1994a).

Les comunitats líquèniques en ecosistemes forestals estan controlades per interaccions complexes entre diferents factors, uns que podríem considerar interns: dispersió de diàspores, establiment i creixement dels líquens, i fenòmens de competència; i altres externs: edat del bosc, factors microclimàtics i substrat (Esseen *et al.*, 1996; Ohlson *et al.*, 1997). La majoria dels treballs esmentats estudien la incidència dels factors externs en les comunitats de líquens, però tenim ben poca informació sobre els factors interns, especialment sobre els processos de colonització dels líquens en ambients forestals estables. Això potser és degut a la dificultat pràctica per dur a terme aquests tipus d'estudis. És evident, però, que els factors interns també han de jugar un paper important en la composició florística de les comunitats líquèniques epífites dels boscos i, concretament, en la presència de les espècies indicadores. Tot i la problemàtica del seu estudi, tenir informació sobre els processos de colonització dels líquens en ambients forestals ens permetria acabar de conèixer els requeriments ecològics de les espècies. En definitiva, el bon coneixement de la biologia de les espècies és bàsic per entendre el seu valor indicador en relació amb la continuïtat ecològica del bosc.

Agraïments

Agraïm al Comissionat per a Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya la concessió a un dels autors (A.L.) d'una beca per a la formació de personal investigador (1995FI).

Bibliografia

- AARTS, B. G. W. 2000. A Canadian perspective to defining biodiversity. Contribució a la conferència per internet «Bioassess. Biodiversity Assessment Tools: Identifying indicators to assess the impact of European policies on biodiversity» (6 nov.-22 dec., 2000). Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. <<http://www.gencat.es/mediamb/bioassess>>.
- ABBASSI-MAAF, L. & ROUX, C. 1986. Les peuplements lichéniques corticoles de la chênaie verte: étude comparée de la Gardiole de Rians et de l'île de Port-Cros (Var). *Bull. Soc. Linn. Provence* 38: 189-245.
- BATES, J. W. 1992. Influence of chemical and physical factors on *Quercus* and *Fraxinus* epiphytes at Loch Sunart, western Scotland: a multivariate analysis. *J. Ecol.*, 80: 163-179.
- BOADA, M. & ZAHONERO, A. 1999. *Medi ambient. Una crisi civilitzadora*. Debat 9. Ed. La Magrana. Barcelona.
- BRICAUD, O. & ROUX, C. 1994. Deux associations lichéniques corticoles nouvelles mésoméditerranéennes, sciaphiles: le *Ramonia-Striguletum mediterraneae* et le *Striguletum affinis*. *Lichenologist*, 26(2): 113-134.
- BROWN, M. J.; JARMAN, S. J. & KANTVILAS, G. 1994. Conservation and reservation of non-vascular plants in Tasmania, with special reference to lichens. *Biodivers. Conserv.*, 3: 263-278.
- BURGAZ, A. R.; FUERTES, E. & ESCUDERO, A. 1994. Ecology of cryptogamic epiphytes and their communities in deciduous forests in mediterranean Spain. *Vegetatio*, 112: 73-86.
- CALATAYUD, V.; SANZ, M. J. & SÁNCHEZ, G. 2000. Epiphytic macrolichens in the CE plots of the Pan-European Programme for Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Spain. In: *The Fourth IAL Symposium. Progress and Problems in Lichenology at the Turn of the Millenium. Book of abstracts*. Universitat de Barcelona. Barcelona. p. 116.
- CAMENZIND, R. & WILDI, E. 1991. Die epiphytische Flechtenflora des Gurnigel-Gantrischgebietes (BE). *Bot. Helv.*, 101(2): 183-197.
- CERRILLO, A. 2000. Martí Boada: La idea de un paisaje intocado es un mito (entrevista). In: *Crónica*

- del Medio Ambiente, 1999.* (V. de Semir Coord.). Novartis.
- DIEDERICH, P. 1991. Les forêts luxembourgeoises à longue continuité historique. *Bull. Soc. Nat. Luxemb.*, 92: 31-39.
- DOÑATE, I. 1999. Normativa: els arbres que no deixen veure el bosc. In: *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura, n° 23. La gestió del rerepaís.* Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Barcelona, p. 62-71.
- ESSEEN, P. A.; RENHORN, K. E. & PETTERSSON, R. B. 1996. Epiphytic lichen biomass in managed and old-growth boreal forests: effect of branch quality. *Ecol. Appl.*, 6(1): 228-238.
- ETAYO, J. & GOMEZ-BOLEA, A. 1992. Estabilidad ecológica por medio de bioindicadores líquénicos en robledales de los Pirineos atlánticos. *Folia Bot. Misc.*, 8: 61-75.
- FALIŃSKI, J. B. 1995. Study subject: the natural forest as the life environment of the cryptogamous plants. In: *Cryptogamous plants in the forest communities of Bialowieza National Park* (J. B. Falinski & W. Molenko. Ed.). Phytocoenosis 7. Archivum Geobotanicum 4. Warszawa-Bialoweza. p. 5-9.
- FOLCH, R. 1993. *Biosfera. Vol. 5. Mediterrànies.* Ed. Enciclopèdia Catalana. Barcelona.
- FOS, S. 1998. Líquenes epífitos de los alcornoques ibéricos. Correlaciones bioclimáticas, anatómicas y densimétricas con el corcho de reproducción. *Guineana*, 4: 1-507.
- FUERTES, E.; BURGAS, A. R. & ESCUDERO, A. 1996. Pre-climax epiphyte communities of bryophytes and lichens in Mediterranean forests from the Central Plateau (Spain). *Vegetatio*, 123: 139-151.
- GALLOWAY, D. 1995. Los líquenes del bosque templado de Chile. In: *Ecología de los bosques nativos de Chile* (J. J. Armesto; C. Villagrán & M. K. Arroyo. Ed.) Universidad de Chile. Comité de Publicaciones científicas. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. p. 101-112.
- GAUSLAA, Y. 1995. The *Lobarion*, an epiphytic community of ancient forests threatened by acid rain. *Lichenologist*, 27(1): 59-76.
- GLENN, M. G. & WEBB, S. L. 1997. Lichens as indicators of forest integrity. In: *Progress and Problems in Lichenology in the Nineties. IAL 3* (R. Türk & R. Zorer. Ed.). Bibliotheca Lichenologica. J. Cramer. Berlin, Stuttgart. p. 155-164.
- GLENN, M. G.; COLE, M. S.; WEBB, S. L. & HALE, C. M. 1998. Corticolous lichens and bryophytes: preliminary surveys of old growth and managed northern hardwood stands in Minnesota. In: *Lichenographia Thomsoniana: North American Lichenology in Honor of John W. Thomson* (M. G. Glenn; R. C. Harris; R. Dirig & M. S. Cole. Ed.). Mycotaxon Ltd. Ithaca. Nova York. p. 407-422.
- GOWARD, T. 1994a. Living antiquities. *Nature Canada*, estiu 1994: 14-21.
- GOWARD, T. 1994b. Notes on oldgrowth-dependant epiphytic macrolichens in Inland British Columbia, Canada. *Acta Bot. Fennica*, 150: 31-38.
- GRACIA, M. & RETANA, J. 1996. Effect of site quality and thinning management on the structure of holm oak forests in Northern Spain. *Ann. Sci. Forestieres*, 53(2-3): 571-584.
- GUSTAFSSON, L. 2000. Back to the basic definition of biodiversity. Contribució a la conferència per Internet *Bioassess. Biodiversity Assessment Tools: Identifying indicators to assess the impact of European policies on biodiversity* (6 nov.-22 dec., 2000). Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. <http://www.gencat.es/mediamb/bioassess>.
- GUSTAFSSON, L.; DE JONG, J. & NOREN, M. 1999. Evaluation of Swedish woodland key habitats using red-listed bryophytes and lichens. *Biodivers. Conserv.*, 8(8): 1101-1114.
- GUSTAFSSON, L.; FISKESJÖ, A.; INGELÖG, T.; PETTERSSON, B. & THØR, G. 1992. Factors of importance to some lichen species of deciduous broad-leaved woods in southern Sweden. *Lichenologist*, 24(3): 255-266.
- HALONEN, P.; HYVÄRINEN, M. & KAUPPI, M. 1991. The epiphytic lichen flora on conifers in relation to climate in the Finnish middle boreal subzone. *Lichenologist*, 23(1): 61-71.
- HANSSON, L. 2000. *Indicators of biodiversity: recent approaches and some general suggestions.* BEAR Technical Report n° 1. <http://www.algonet.se/bear>.
- HAWKSWORTH, D. L. & AGUIRRE-HUDSON, B. 1995. Biodiversidad: concepto y evaluación. *Política científica*, 44: 11-14.
- HAZELL, P. & GUSTAFSSON, L. 1999. Retention of trees at final harvest. Evaluation of a conservation technique using epiphytic bryophyte and lichen transplants. *Biol. Conserv.*, 90(2): 133-142.
- HÉBRARD, J. P.; LOISEL, R.; ROUX, C.; GOMILA, H. & BONIN, G. 1995. Incidence of clearing on phanerogamic and cryptogamic vegetation in South-Eastern France: disturbance indices. In: *Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems* (D. Bellan; G. Bonin & C. Emig. Ed.). Technique et Documentation. Lavoisier, Intercept Ltd. p. 747-758.
- HERNANDEZ, Y.; DÍAZ, A. & ROWE, J. G. 1998. Distribución de los macrolíquenes corticícolas y su relación con la vegetación en el Parque Natural de los Alcornocales (Cádiz, S de España). *Acta Bot. Malacitana*, 23: 43-50.
- HOLIEN, H. 1996. The lichen flora on *Picea abies* in a suboceanic spruce forest area in Central Norway with emphasis on the relationship to site and stand parameters. *Nordic J. Bot.*, 17(1): 55-76.
- HOLIEN, H. 1997. The lichen flora on *Picea abies* in a suboceanic spruce forest area in Central Norway with emphasis on the relationship to site and stand parameters. *Nordic J. Bot.*, 17: 55-76.
- HYVÄRINEN, M.; HALONEN, P. & KAUPPI, M. 1992. Influence of stand age and structure on the epiphytic lichen vegetation in the middle-boreal forests of Finland. *Lichenologist*, 24(2): 165-180.
- ÍBERO, C. & DUDLEY, N. 1995. Criterios para valorar la calidad de los bosques. *Quercus*, 113: 10-15.

- ÍBERO, C. 1995. Situación de los bosques vírgenes y los bosques seminaturales viejos en Europa occidental. *Quercus*, 109: 14-15.
- KIVISTÖ, L. & KUUSINEN, M. 2000. Edge effects on the epiphytic lichen flora of *Picea abies* in middle boreal Finland. *Lichenologist*, 32(4): 387-399.
- KNOPS, J. M. H.; NASH, T. H. & SCHLESINGER, W. H. 1996. The influence of epiphytic lichens on the nutrient cycling of an oak woodland. *Ecol. Monogr.*, 66(2): 159-179.
- KUUSINEN, M. 1994a. Epiphytic lichen diversity on *Salix caprea* in old-growth southern and middle boreal forests of Finland. *Ann. Bot. Fennici*, 31: 77-92.
- KUUSINEN, M. 1994b. Epiphytic lichen flora and diversity on *Populus tremula* in old-growth and managed forests of southern and middle boreal Finland. *Ann. Bot. Fennici*, 31: 245-260.
- KUUSINEN, M. 1996b. Cyanobacterial macrolichens in *Populus tremula* as indicators of forest continuity in Finland. *Biol. Conserv.*, 75: 43-49.
- LESICA, P.; McCUNE, B.; COOPER, S. V. & HONG, W. S. 1991. Differences in lichen and bryophyte communities between old-growth and managed second-growth forests in the Swan Valley, Montana. *Can. J. Bot.*, 69: 1745-1755.
- LONGAN, A. 2002. *Els líquens epífits com a indicadors de l'estat de conservació del bosc mediterrani. Proposta metodològica per als alzinars de Catalunya*. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona.
- LÜCKING, R. 1999. Ecology of foliicolous lichens at the «Botarrama» trail (Costa Rica), a neotropical rainforest IV. Species associations, their salient features and their dependence on environmental variables. *Lichenologist*, 31(3): 269-289.
- MARTÍNEZ, I. & ARAGÓN, G. 1996. Líquens epíficos de la vertiente norte del Puerto de la Quezera, macizo de Ayllón (centro de España). *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.*, 2: 143-156.
- MASALLES, R. M. & VIGO, J. 1987. La successió a les terres mediterrànies: sèries de vegetació. In: *Ecosistemes terrestres. La resposta als incendis i a d'altres perturbacions* (J. Terradas. Coord.). Quaderns d'ecologia aplicada 10. Diputació de Barcelona. Barcelona. p. 27-43.
- McCUNE, B. & ANTOS, J. A. 1981. Diversity relationships of forest layers in the Swan Valley, Montana. *Bull. of the Torrey Botanical Club*, 108(3): 354-361.
- McCUNE, B. & ANTOS, J. A. 1982. Epiphyte communities of the Swan Valley, Montana. *Bryologist*, 85(1): 1-12.
- McCUNE, B. 1993. Gradients in epiphyte biomass in three *Pseudotsuga-Tsuga* forests of different ages in Western Oregon and Washington. *Bryologist*, 96(3): 405-411.
- McCUNE, B. 2000. Lichen communities as indicators of forest health. *Bryologist*, 103(2): 353-356.
- McCUNE, B.; DEY, J. P.; PECK, J. E.; CASSELL, D.; HEIMAN, K.; WILL-WOLF, S. & NEITLICH, P. N. 1997a. Repeatability of community data: species richness versus gradient scores in large-scale lichen studies. *Bryologist*, 100(1): 40-46.
- McCUNE, B.; DEY, J.; PECK, J. E.; HEIMAN, K. & WILL-WOLF, S. 1997b. Regional gradients in lichen communities of the southeast United States. *Bryologist*, 100(2): 145-158.
- McCUNE, B.; ROSENRETER, R.; PONZETTI, J. M. & SHAW, D. C. 2000. Epiphyte habitats in an old conifer forest in Western Washington, U.S.A. *Bryologist*, 103(3): 417-427.
- MESTRES, J. M. 1999. Els valors naturals de l'espai d'interès natural de les muntanyes de Prades. *Treb. Cent. Hist. Nat. Conca de Barberà*, 2: 13-22.
- MOLINA, J. R. & PROBANZA, A. 1992. Pautas de distribución de biocenosis líquénicas epíficas de un robleal de Somosierra (Madrid). *Bot. Complutensis*, 17: 65-78.
- MONTOYA, J. M. 1993. *Encinas y encinares*. 2ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- NEITLICH, P. N. & McCUNE, B. 1997. Hotspots of epiphytic lichen diversity in two young managed forests. *Conserv. Biol.*, 11(1): 172-182.
- OHLSON, M.; SODERSTROM, L.; HORNBERG, G.; ZACKRISSON, O. & HERMANSSON, J. 1997. Habitat qualities versus long-term continuity as determinants of biodiversity in boreal old-growth swamp forests. *Biol. Conserv.*, 81(3): 221-231.
- PEARSON, D. L. 1994. Selecting indicator taxa for the quantitative assessment of biodiversity. In: *Biodiversity: Measurement and estimation* (D. L. Hawksworth, Ed.). Chapman & Hall. p. 75-78.
- PECK, J. E. & McCUNE, B. 1997. Remnant trees and canopy lichen communities in western Oregon: a retrospective approach. *Ecol. Appl.*, 7(4): 1181-1187.
- PRADA, A. & GONZÁLEZ, M. 1998. Valoración de bosques y cultivos forestales: biodiversidad y paisaje en la España atlántica. In: *V Congreso Nacional del Medio Ambiente. Espacios naturales y biodiversidad*. Colegio Oficial de Físicos. Madrid. p. 183-196.
- REALES, LL. 1999. Entrevista a Martí Boada. In: *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura, nº 23. La gestió del rerepais*. Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Barcelona. p. 54-62.
- RODÀ, F. 2000. Al voltant de la recerca i la gestió en espais naturals. In: *I Jornades sobre la recerca en els sistemes naturals de Collserola: aplicacions a la gestió del Parc* (F. Llimona; J. M. Espelta; J. C. Guix; E. Mateos & J. D. Rodríguez-Tejero. Ed.). Consorci del Parc de Collserola. Barcelona. p. 147-150.
- ROJAS, E. 1999. El bosc mediterrani en el segle XXI. A: *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura, nº 23. La gestió del rerepais*. Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Barcelona. p. 5-15.
- ROSE, F. 1976. Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. In: *Lichenology: Progress and Problems* (D. H. Brown; D. L. Hawksworth & R. H. Bailey. Ed.). Academic Press. Nova York. p. 279-307.
- ROSE, F. 1992. Temperate forest management: its effects on bryophyte and lichen floras and habitats. In: *Bryophytes and Lichens in a Changing environment* (J. W. Bates & A. M. Farmer. Ed.). Clarendon Press. Oxford. p. 211-233.

- ROSSO, A. L.; McCUNE, B. & RAMBO, T. R. 2000. Ecology and conservation of a rare, old-growth associated canopy lichen in a silvicultural landscape. *Bryologist*, 103(1): 117-127.
- SARRIÓN, F. J. 2001. *Flora y vegetación de líquenes epífitos de Sierra Madrona - Valle de Alcudia (Ciudad Real). Relación con el estado de conservación de sus bosques*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- SCHUCK, A.; PARVIAINEN, J. & BÜCKING, W. 1994. *A review of approaches to forestry research on structure, succession and biodiversity of undisturbed and semi-natural forests and woodlands in Europe*. European Forest Institute Working Paper Num. 3. Joensuu, Finland.
- SEAWARD, M. R. D. 1996. Lichens and the environment. In: *A Century of Mycology*. (Sutton, B.C. Ed.). Cambridge University Press. Cambridge. P. 293-320.
- SELVA, S. B. 1994. Lichen diversity and stand continuity in the Northern hardwoods and spruce-fir forests of Northern New England and Western New Brunswick. *Bryologist*, 97(4): 424-429.
- SELVA, S. B. 1996. Using lichens to assess ecological continuity in northeastern forests. In: *Eastern old-growth forests. Prospects for rediscovery and recovery*. (Davis, M. B. Ed.). Island Press. Washington D.C. p. 35-48.
- SPIES, T. A. 1991. Plant species diversity and occurrence in young, mature, and old-growth Douglas-fir stands in Western Oregon and Washington. In: *Wildlife and vegetation of unmanaged Douglas-fir forests. General Technical Report*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Portland, Oregon. p. 111-121
- TALLENT-HALSELL, N. G. (Ed.). 1994. *Forest Health Monitoring. 1994. Field Methods Guide*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C.
- TERRADAS, J. 1987. La resposta dels ecosistemes a les perturbacions en el context de la teoria ecològica. In: *Ecosistemes terrestres. La resposta als incendis i a d'altres perturbacions* (J. Terradas. Coord.). *Quaderns d'ecologia aplicada*, 10. Diputació de Barcelona. Barcelona. p. 11-26.
- TERRADAS, J. 1995. Lo que debe saberse sobre la biodiversidad. *Política científica*, 44: 15-18.
- TERRADAS, J. 1996. La dinámica de la vegetación y los puntos de vista actuales de la ecología en relación a la gestión del medio natural. In: *La gestión sostenible de los bosques*. Centre Tecnològic Forestal del Solsonès. Lleida. p. 17-28.
- TIBELL, L. 1992. Crustose lichens as indicators of forest continuity in boreal coniferous forests. *Nordic J. Bot.*, 12: 427-450.
- WARD, J. W. 1993. *Forest Ecosystem Management. An Ecological, Economic, and Social Assessment*. Report of the Forest Ecosystem Management Assessment Team. Portland, Oregon.
- WILKINSON, C. 2000. A Canadian perspective to defining biodiversity. Contribució a la conferència per internet *Bioassess. Biodiversity Assessment Tools: Identifying indicators to assess the impact of European policies on biodiversity (6 nov.-22 dec., 2000)*. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. [«http://www.gencat.es/mediamb/bioassess»](http://www.gencat.es/mediamb/bioassess).
- WOLSELEY, P. A. & AGUIRRE-HUDSON, B. 1997. Fire in tropical dry forests: corticolous lichens as indicators of recent ecological changes in Thailand. *J. Biogeogr.*, 24: 345-362.
- WOLSELEY, P. A. & O'DARE, A. M. 1990. The use of epiphytic lichens as environmental indicators in Exmoor woodlands. *Ecology in Somerset*, 1990: 3-22.
- WOLSELEY, P. A. & PRYOR, K. V. 1999. The potential of epiphytic twig communities on *Quercus petraea* in a welsh woodland site (Tycanol) for evaluating environmental changes. *Lichenologist*, 31(1): 41-66.
- WOLSELEY, P. A.; MONCRIEFF, C. & AGUIRRE-HUDSON, B. 1994. Lichens as indicators of environmental stability and change in the tropical forests of Thailand. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 4: 116-123.