

REGIMENT DE LA COSA NATURAL

Primera proposta d'índex del valor del patrimoni natural de Catalunya (IVPN), una eina cartogràfica per a l'avaluació ambiental estratègica

Joan Marull*, Joan Pino**, Jordi Carreras***,
Albert Ferré***, María José Cordobilla*, Joana Llinàs*,
Ferran Rodà**, Empar Carrillo*** & Josep Maria Ninot***

Rebut: 23.12.04
Acceptat: 02.03.05

Resum

Es presenta la primera fase de desenvolupament conceptual i metodològic de l'índex del valor del patrimoni natural (IVPN), un índex d'expressió cartogràfica que pretén avaluar el conjunt del territori català amb criteris homogenis, per tal que sigui utilitzable en l'avaluació ambiental estratègica de plans i programes. La principal informació de base correspon a la cartografia dels hàbitats de Catalunya (escala 1:50.000), triada per la seva resolució espacial i temàtica i perquè cobreix la totalitat de Catalunya, i complementada amb informació bibliogràfica i cartogràfica diversa. S'ha

dut a terme una selecció experta de variables florístiques i fitocenològiques, corològiques, ecopaisatgístiques i de servei ecològic, que s'han disposat en un sistema jeràrquic amb divuit indicadors de base, quatre índexs parcials i un —l'IVPN— de total. El treball també presenta, de forma sumària, algunes valoracions relatives al mètode, els resultats obtinguts i les possibilitats d'ús en la planificació i la gestió territorials.

MOTS CLAU: patrimoni natural, índex ecològic, avaluació ambiental estratègica, planejament territorial, biologia de la conservació.

* Barcelona Regional (BR). Zona Franca. Edifici Z. Carrer 60, 25-27. 08040 Barcelona.

A/e: jmarull@bcnregional.com

** Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Universitat Autònoma de Barcelona.

A/e: joan.pino@uab.es

*** Centre de Recerca de Biodiversitat Vegetal (CERBIV). Departament de Biologia Vegetal. Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

A/e: jocarreras@ub.edu

Abstract

A first proposal for the Natural Heritage Value Index for Catalonia, a cartographical tool for strategic environmental assessment

The first phase of development of the Natural Heritage Value Index (NHVI) of Catalonia is presented. This is a cartographical index aimed at evaluating the Catalan territory as a whole using homogeneous criteria, so that it may be used in the strategic environmental assessment of plans and programmes. The basis is the habitats map of Catalonia (1:50.000), which was considered to be the most suitable owing to its spatial and thematic resolution and because it covers the whole of Catalonia. The map was complemented by bibliographical information and ancillary cartography. A set of parameters concerning floristics, phytosociology, chorology, landscape structure, and ecological services of habitats were chosen by expert judgement. They were organised into a hierarchical system of 18 fundamental indicators, 4 partial indices and one global index, the NHVI. The study also discusses briefly the validity of the methods and results, and their possible use in land planning and management.

KEY WORDS: Natural heritage, ecological index, strategic environmental assessment, land planning, conservation biology.

Resumen

Primera propuesta de índice del valor del patrimonio natural de Cataluña (IVPN), una herramienta cartográfica para la evaluación ambiental estratégica

Se presenta la primera fase de desarrollo conceptual y metodológico del índice del valor del patrimonio natural (IVPN), un índice de expresión cartográfica que pretende evaluar el territorio catalán con criterios homogéneos, de manera que sea utilizable en la evaluación ambiental estratégica de planes y programas. La principal información de base corresponde a la cartografía de los hábitats de Cataluña (escala 1:50.000), elegida por su resolución espacial y temática y porque cubre la totalidad de Cataluña, y complementada con información bibliográfica y cartográfica diversa. Se ha llevado a cabo una selección experta de variables florísticas y fitocenológicas, corológicas, ecopaisajísticas y de servicio ecológico, que se han dispuesto en un sistema jerárquico con dieciocho indicadores de base, cuatro índices parciales y uno —el IVPN— total. El trabajo también presenta, de

forma sumaria, algunas valoraciones relativas al método, los resultados obtenidos y las posibilidades de uso en la planificación y la gestión territoriales.

PALABRAS CLAVE: patrimonio natural, índice ecológico, evaluación ambiental estratégica, planeamiento territorial, biología de la conservación.

Consideracions prèvies

Existeix un interès creixent per la gestió i la conservació dels hàbitats, fruit de la seva progressiva degradació per causa antròpica. En el cas de Catalunya, les tendències que han caracteritzat el creixement urbanístic dels darrers trenta anys —com ara la dispersió, l'especialització funcional de l'espai o la segregació territorial per nivells de renda, entre d'altres— han comportat noves oportunitats de creixement econòmic però, alhora, han generat una sèrie de disfuncions territorials negatives (Folch, 1988; Marull, 2003).

En aquest context cal situar l'avaluació ambiental estratègica (AAE), una eina que en el futur pot esdevenir molt útil per a invertir les tendències territorials més indesitjades i reorientar-les cap a la sostenibilitat. El juny del 2001 es va aprovar la Directiva europea 2001/42/CE sobre l'avaluació dels efectes de determinats plans i programes en el medi ambient, que recull els continguts bàsics futurs de l'AAE. Segons l'article 13, aquesta directiva s'haurà d'haver incorporat a l'ordenament jurídic dels estats membres abans del juliol del 2004. Tant l'Estat com la Generalitat de Catalunya han iniciat els treballs jurídics i tècnics per a estudiar la forma més efectiva de fer-ho.

Tanmateix, l'aplicació de l'AAE en el planejament urbanístic i territorial, sigui en l'àmbit regional, municipal o urbà, és complexa a causa principalment de la manca d'instru-

ments metodològics espacialment explícits i de bases de dades necessàries per a la parametrització dels fenòmens socioambientals. Treballs recents destaquen la manca de criteris per a identificar els l·lindars d'aptitud per al desenvolupament de plans i programes d'incidència territorial (Marull & Folch, 2004).

En aquest sentit, la generalització dels sistemes d'informació geogràfica (SIG) ha revolucionat l'anàlisi territorial en general i pot aportar eines particularment útils per a l'AAE. Ara bé, l'ús dels SIG és encara limitat per la disponibilitat d'informació de partida, es a dir, bases de dades suficientment extenses i precises (Pons, 1996). Malgrat la quantitat de treballs realitzats sobre diversos aspectes del medi físic, natural, i sobre el funcionament dels ecosistemes terrestres a Catalunya, no existeixen documents de síntesi que, a escala rellevant i amb prou resolució, cobreixin tot el país pel que fa als diversos aspectes del medi natural que necessitaria l'AAE. Cal esmentar, en aquest sentit, les clamoroses absències de mapes edàfics o de formacions superficials per al conjunt de Catalunya a una escala d'almenys 1:50.000 (Folch & Marull, 2004).

En la darrera dècada, però, diverses administracions catalanes, agències i centres associats (entre ells els responsables d'aquest projecte) han fet un esforç especial de posada a punt de bases de dades cartogràfiques i alfanumèriques que manquen per a dur a terme aquestes avaluacions, entre les quals destaquen les cartografies de cobertes i usos del sòl, de vegetació i de paisatges, i els inventaris georeferenciats de flora, fauna i boscos, entre d'altres (vegeu <http://mediambient.gencat.net/cat/inici.jsp>, <http://www.creafe.uab.es/creafe/index.htm>). És, per tant, un bon moment per a plantejar l'elaboració d'índexs a partir d'aquestes bases cartogràfiques, que puguin ser utilitzats a escales aptes per a l'avaluació d'impacte ambiental en plans urbanístics i territorials.

Els criteris de valoració

L'objecte que pretén valorar aquest projecte, el patrimoni natural, és quelcom poc definit que aplega nivells d'organització i de composició molt diversos i relatius a la gea, la flora i la fauna. Des dels inicis de la conservació, l'aproximació a aquesta realitat multisecular i multifacètica s'ha fet a través de concepcions parcials mitjançant el que s'han anomenat *criteris de valoració* (vegeu, per exemple, Ratcliffe, 1971). No hi ha cap norma per a decidir quin és el conjunt mínim de criteris que descriuen de forma prou completa el patrimoni natural. Potser la norma més emprada ha estat la disponibilitat d'informació, certament poc relacionada amb allò que coneixem —i que hauríem de conèixer— dels sistemes naturals i els organismes que hi viuen. Entre els criteris més utilitzats destaquen la biodiversitat —assimilada a riquesa d'espècies—, la naturalitat o integritat, la raresa o singularitat i la representativitat (Mallarach, 1999; Justus & Sarkar, 2002), molts dels quals són recollits en diversos índexs parcials de l'IVPN. Tot i que alguns d'aquests criteris són perfectament aplicables a la gea, han estat principalment utilitzats per a valorar el component biològic del patrimoni natural (vegeu, per exemple, Mallarach, 1999), probablement perquè les dades relatives a sòls i substrats geològics són escasses i parcials. Es fa evident, doncs, una associació notable entre patrimoni natural i patrimoni biològic en molts dels exemples consultats.

Altres criteris clarament biològics són la resiliència —o capacitat de recuperació— de la vegetació i la connectivitat entre sistemes naturals, desenvolupats en altres índexs complementaris com ara l'índex de vulnerabilitat de la matriu territorial (IVT₂; Folch & Marull, 2004) i l'índex de connectivitat ecològica (ICE; Marull & Mallarach, 2004), per la qual cosa no s'han incorporat en el desenvolupa-

ment de l'IVPN. En general hi manquen, però, criteris relacionables amb el funcionament ecològic del territori (Mallarach, 1999), com les dimensions i la forma dels hàbitats i els espais naturals (Forman, 1995), o amb els béns i serveis que en pot obtenir la població. Tal com demostren Constanza *et al.* (1997) en un treball considerat clàssic, aquests serveis no són precisament una part menor del balanç econòmic complet de l'ús del territori.

Al llarg de la història de la conservació s'han succeït intents molt diversos d'organitzar criteris com els esmentats anteriorment en models, destinats a la valoració del patrimoni natural i, més concretament, a la selecció d'espais protegits. Alguns d'aquests models, desenvolupats sobretot els anys setanta i vuitanta, es basen en combinacions més o menys complexes d'índexs numèrics (vegeu-ne una selecció a Mallarach, 1999; i a Justus & Sarkar, 2002). El desenvolupament dels SIG ha permès en temps recents una nova embranzida dels models d'avaluació, aquest cop espacialment explícits i basats en algorismes matemàtics que han permès aproximacions més mecanicistes que les tradicionals (Justus & Sarkar, 2002).

L'aplicació d'aquests models sovint ve precedida, però, de la selecció prèvia d'unes àrees preferencials, candidates a ser protegides i que seran les úniques avaluades. Aquesta opció, emprada tradicionalment a casa nostra per a la selecció d'espais protegits, és l'única aplicable quan el coneixement del territori és parcial. Recentment ha suscitat, però, molts dubtes perquè valora i protegeix, més o menys eficaçment, una petita part del territori en detriment de la resta. Cada cop són més nombroses les veus que advoquen per una política de conservació que gestioni el conjunt de la matriu territorial, i això només és possible a partir d'una valoració del patrimoni natural que, amb criteris homogenis, cobreixi tot el país. Aquesta aproximació contínua ha esde-

vingut possible amb el desenvolupament i la generalització dels mètodes de classificació automàtica i de teledetecció combinats amb les eines SIG. Tot i això, no hi ha gaires exemples d'aplicació en l'avaluació del patrimoni natural. Podem esmentar per la seva rellevància el *Gap Analysis Program* dels EUA (Kiester *et al.*, 1996) que, malgrat perseguir objectius relativament diferents, comparteix amb l'IVPN el fet que la informació sobre la que se sustenta és referida a una unitat elemental (píxel) de mida uniforme que cobreix tot l'àmbit d'estudi.

La proposta metodològica

L'objectiu

El present treball aspira a generar un mapa del valor del patrimoni natural de Catalunya que pugui servir per a l'AAE de plans i programes, basada en una bateria prou representativa de criteris aplicats al conjunt del territori de forma suficientment homogènia. La iniciativa no té gaires precedents entre les iniciatives de conservació més conegudes. Mallarach (1999) destaca que moltes d'aquestes valoracions es fan a partir d'un nombre baix —clarament insuficient— de criteris. La nostra proposta d'IVPN introdueix, com a aspecte més innovador, un intent d'aproximació contínua a la valoració del patrimoni natural. Pretén, a més, fugir d'algunes disfuncions usuals de la planificació i conservació tradicionals, combinant els criteris de raresa amb els de representativitat i funcionalitat, per tal d'aconseguir una valoració adequada d'àmbits tradicionalment menystinguts, com ara els seminaturals o antròpics (pinedes secundàries, conreus, àrees agroforestals) i, en general, els ambients oberts i mediterranis. Aquests tres criteris bàsics es complementen amb un quart criteri, que valora els serveis ecosistèmics que ens

proporcionen els hàbitats. Malgrat tot, es tracta d'un índex encara incomplet que deixa sense tractar components bàsics del patrimoni natural —com la gea— i en tracta d'altres —com la fauna— de forma indirecta. El factor limitant bàsic per a la incorporació d'aquests components ha estat la manca d'una cartografia de síntesi amb prou extensió i resolució per a complir el criteri d'aplicació homogènia per al conjunt de Catalunya.

La informació de base

L'IVPN pren forma d'índex cartogràfic i s'ha generat a partir d'informació cartogràfica preexistent i de criteris proporcionats per experts. Com a informació bàsica es va utilitzar la *Cartografia dels hàbitats a Catalunya* (CHC) perquè, de les cobertures que hi ha disponibles, era la que més informació sobre el patrimoni natural podia aportar. Els hàbitats que pren en consideració la CHC es basen principalment en la vegetació vascular, la part viva de l'ecosistema que hi aporta un percentatge més elevat de biomassa. A més, la seva immobilitat en l'espai, la seva relativa perdurabilitat en el temps i la seva importància en el funcionament dels ecosistemes fan de la vegetació l'element més significatiu i més fàcilment perceptible per a realitzar una primera aproximació al coneixement de la major part dels ecosistemes, com ja proposa el *GAP Analysis* (Kiestler *et al.*, 1996).

La CHC ha estat generada per fotointerpretació sobre ortofotomapes en fals color i infra-roig color (IRC) procedents de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), amb dates entre 1996 i 1997, a escala 1:25.000 per a poder treballar òptimament a 1:50.000, i amb treball de camp. L'àrea mínima és de 22.500 m², llevat d'algunes excepcions. La CHC té una llegenda amb dues-centes vuitanta unitats derivada de la llista d'hàbitats de Catalunya (*CORINE*

biotopes manual, adaptat). El 70 % dels polígons són hàbitats elementals i la resta, per raons d'escala principalment, són agrupacions d'hàbitats difícils de destriar. Cada polígon pot dur fins a tres hàbitats de la llegenda, i, en aquest cas, es dona informació sobre el recobriment de l'hàbitat principal, el secundari i el terciari en camps separats de la base de dades associada. Tota la informació sobre el projecte pot consultar-se a <http://www.gencat.net/mediamb/pn/2chabitats-2.htm>.

A més de la CHC s'han utilitzat altres capes georeferenciades: 1) un mapa d'infraestructures corresponent a vies de comunicació i xarxa ferroviària, creat partint de la base planimètrica generada per l'ICC, a escala 1:50.000 i publicada l'any 2000; 2) un mapa de convexitats generat a partir del model digital d'elevacions elaborat per l'ICC, amb una resolució de trenta metres; 3) un mapa de pendents generat a partir del mateix mapa digital d'elevacions de l'ICC, que indica el percentatge de pendent; 4) un mapa de precipitació mitjana anual de Catalunya, amb una resolució de cent vuitanta metres, publicat a l'*Atles climàtic de Catalunya* l'any 2001; 5) un mapa d'usos del sòl de 1997, generat per l'ICC a escala 1:250.000 i publicat l'any 2002 en format vectorial; 6) les citacions florístiques i els inventaris fitocenològics de BIOCAT (<http://www.gencat.net/mediamb/pn/bdbiodiversitat.htm>), utilitzats per a la valoració dels hàbitats, i 7) dades de població referides a la població de Catalunya per municipi i també a la població de la regió metropolitana de Barcelona expressada per seccions censals, totes dues de l'any 1996, generades per l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT).

Les eines informàtiques

La posada a punt de la bateria d'indicadors i d'índexs de l'IVPN ha portat associada la

utilització d'un bon nombre d'eines informàtiques i, fins i tot, el desenvolupament *ad hoc* d'algunes altres. Entre els SIG s'han fet servir principalment ArcInfo Workstation v.8.1, ArcView v.3.2 i ArcGIS v.8.1. Puntualment també s'ha fet servir MiraMon v.5. Pel que fa al programari ArcView, s'ha ampliat la seva operativitat en afegir rutines, *scripts*, realitzades amb el llenguatge de programació Avenue. En el programari ArcInfo s'han generat diferents macros en llenguatge de programació AML, per tal d'automatitzar processos d'anàlisi repetitius i que requereixen un temps relativament llarg per a ser processats. Molts dels indicadors generats han requerit treballar amb eines de gestió de bases de dades, principalment dBASE i Access 2000.

El procediment

La construcció dels índexs s'enfronta amb els problemes de la selecció i definició conceptual dels indicadors i de la tria del model matemàtic que els combina (Andreasen *et al.*, 2001; Stoms *et al.*, 2002). Atesa la gairebé manca d'informació —i de precedents— sobre quins criteris seleccionar i com assignar-los pesos diferencials, hem hagut de recórrer al coneixement expert per a la definició dels indicadors i dels algorismes de càlcul utilitzats en la seva concreció.

Plantegem la nostra proposta com un conjunt ordenat jeràrquicament de divuit indicadors, quatre índexs parcials i un índex global que correspon a l'IVPN (figura 1). Es pretén generar així una mena de «caixa d'eines» transparent, en la que, a més d'obtenir un valor global per a cada punt del territori, es pugui determinar quin aspecte —índex parcial, indicador o fins i tot paràmetre— del patrimoni natural pesa més en aquesta valoració i, d'aquesta manera, assessorar amb tota la informació significativa disponible en els proces-

sos de presa de decisions relatius a la gestió del territori. Definim com a indicadors els criteris de base utilitzats per a la valoració, normalment resultants de la combinació d'uns pocs paràmetres. Els indicadors es combinen en els anomenats *índexs parcials*, que valoren dimensions concretes del patrimoni natural:

- L'índex intrínsec dels hàbitats (IIH), recull el valor florístic i fitocenològic dels hàbitats (anomenat d'ara endavant *valor intrínsec*).
- L'índex d'interès corològic (IIC), considera aquest interès en sentit ample perquè inclou des d'aspectes biogeogràfics fins a d'altres relatius a la distribució dels hàbitats al territori català.
- L'índex d'estructura ecopaisatgística (IEE), es relaciona amb l'estructura del paisatge i la seva utilització pels organismes i processos ecològics.
- L'índex de servei ecosistèmic (ISE), pretén recollir una valoració dels hàbitats o unitats de paisatge relativa als béns i serveis que n'obtenim.

Tots els indicadors han estat transformats en variables discretes amb quatre valors possibles —0, exclòs; 1, baix; 2, mitjà; 3, alt, i 4, molt alt— (vegeu la taula 1 per a la correspondència entre els valors dels indicadors i les categories discretes). Els índexs parcials, al seu torn, han estat reescalats entre 1 (valor baix) i 10 (valor alt), ja que els criteris que determinen el valor del patrimoni natural es consideren sempre relatius a l'àmbit d'estudi. Aquests se sumen per a donar l'IVPN, que ha estat finalment escalat a valors entre 0 i 10 en funció del valor màxim a l'àrea d'estudi, en el nostre cas, Catalunya:

$$IVPN = 1 + [9 (\varepsilon_i - \varepsilon_{min}) / (\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min})]$$

On ε_i correspon a la suma dels valors que prenen els quatre índexs parcials per a cada

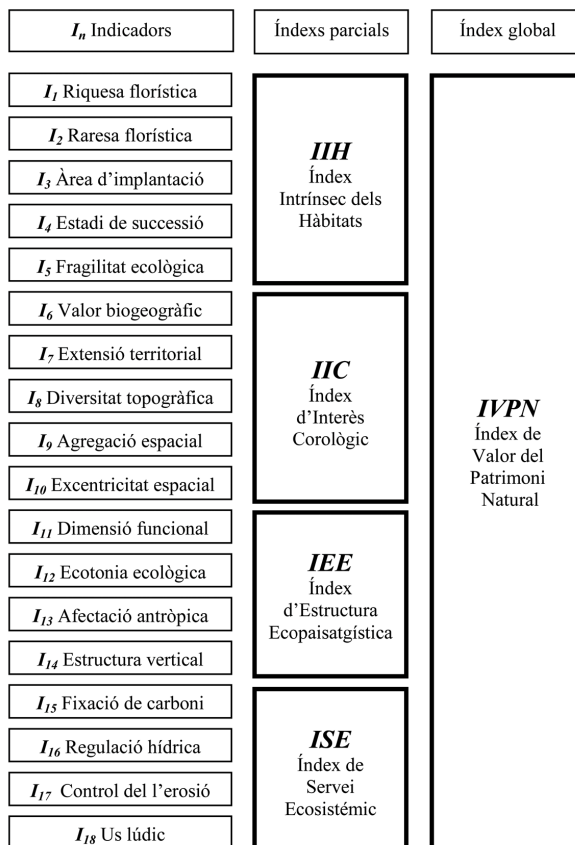


FIGURA 1. Esquema metodològic de l'IVPN

polígon de la CHC, i ε_{min} i ε_{max} corresponen respectivament als valors mínims i màxims observats a l'àmbit d'estudi.

Seguidament es descriuen els indicadors assignats a cada índex parcial. Per tal d'aconseguir la major claredat i brevetat possible del treball s'han suprimit fins on ha estat possible els detalls metodològics i s'ha simplificat al màxim la formulació matemàtica. Tanmateix, els paràmetres i els valors utilitzats en cada cas, així com un esquema complet de tot el procés de generació dels indicadors i els índexs, és disponible a <http://www.creaq.uab.es/IVPN/Annex-IVPN.pdf>.

L'índex intrínsec dels hàbitats (IIIH)

L'IIIH recull els criteris de valoració més habituals d'espècies, comunitats i hàbitats (vegeu Mallarach, 1999). S'han triat cinc indicadors obtinguts directament de la CHC: I_1 , riquesa florística; I_2 , raresa florística; I_3 , àrea d'implantació; I_4 , estadi de la successió, i I_5 , fragilitat ecològica. L'IIIH és el resultat de la suma dels valors discretitzats dels cinc indicadors (taula 1) i del reescalat del valor final entre 1 i 10 segons el procediment següent:

$$IIIH = 1 + [9 (\alpha_i - \alpha_{min}) / (\alpha_{max} - \alpha_{min})]$$

TAULA 1. Indicadors dels índexs parcials de l'IVPN i discretització dels seus valors.

Indicador	Descripció	Valors discretitzats			
		1	2	3	4
Índex intrínsec dels hàbitats (IIH)					
I_1	Riquesa florística	< 10 esp.	10-20 esp.	20-30 esp.	> 30 esp.
I_2	Raresa florística	0 esp.	1-2 esp.	3-7 esp.	> 7 esp.
I_3	Àrea d'implantació	> 250 ha	50-250 ha	10-50 ha	< 10 ha
I_4	Estadi de la successió	Inicial	Poc madur	Mitjanament madur	Molt madur
I_5	Fragilitat ecològica	Baixa	Mitja	Alta	Molt alta
Índex d'interès corològic (IIC)					
I_6	Valor biogeogràfic	Regió amplia	Regió mitjana	Regió petita	Endemisme
I_7	Extensió territorial	> 10 %	1-10 %	0,1-1 %	< 0,1 %
I_{8a}	Rang altitudinal	> 2.000 m	1.000-2.000 m	500-1.000 m	< 500 m
I_{8b}	Diversitat d'exposicions (índex de Shannon)	> 0,9	0,75-0,9	0,5-0,75	< 0,5
I_9	Agregació espacial	> 100	50-100	25-50	< 25
I_{10}	Excentricitat espacial	< 1	1-2	2-4	> 4
Índex d'estructura ecopaisatgística (IEE)					
I_{11}	Potencial de relació	< 100	100-10.000	10.000-100.000	> 100.000
I_{12}	Ecotonia ecològica	< 1,5	1,5-2	2-2,5	> 2,5
I_{13}	Integritat territorial	> 100	10-100	0-10	0
I_{14}	Estructura vertical	Molt baix	Baix	Mitjà	Alt
Índex de servei ecosistèmic (ISE)					
I_{15}	Fixació de carboni	< 0,25	0,25-0,5	0,5-1	> 1
I_{16}	Regulació hídrica	< 0,01	0,01-0,5	0,5-1	> 1
I_{17}	Control d'erosió	< 2.500	2.500-50.000	50.000-100.000	> 100.000
I_{18}	Ús lúdic	< 10	10-40	40-160	> 160

On α_i correspon a la suma dels valors que prenen els indicadors en cada polígon de la CHC, i α_{min} i α_{max} corresponen respectivament als valors mínims i màxims d'aquesta suma.

La riquesa florística (I_1)

Definida com el nombre mitjà d'espècies dels hàbitats, sense tenir en compte la freqüència relativa de les diverses espècies, i basada únicament en plantes vasculares. En primer lloc s'ha dut a terme la discretització dels valors de riquesa de cada hàbitat per coneixement expert, contrastat amb l'ajut de la base

de dades BIOCAT, que ens dona informació detallada sobre els inventaris fitocenològics de la vegetació a Catalunya. Aquesta vegetació, classificada en associacions, va ser confrontada de bon principi amb la llista d'hàbitats de Catalunya i també amb la llegenda del mapa d'hàbitats. En el cas en que l'hàbitat correspon a una sola associació, considerem que la moda matemàtica del nombre d'espècies per inventari és un bon indicador de la riquesa de l'associació.

Seguidament s'ha calculat la riquesa florística de cada polígon sumant els valors de riquesa de cada hàbitat, ponderats pel seu recobri-

ment. I_1 és, llavors, el resultat de transformar aquesta riquesa florística mitjana en les unitats discretes recollides a la taula 1.

La raresa florística (I_2)

Modula els possibles efectes negatius derivats de la inespecificitat de la riquesa florística. En el nostre cas, mesurem com a raresa la presència d'espècies endèmiques i de comunitats rares als hàbitats, sempre amb referència a Catalunya. S'ha calculat la raresa de cada polígon com el màxim discretitzat dels valors de raresa corresponents als diversos hàbitats que el componen. El recompte d'elements rars s'ha fet a partir de la llista de comunitats rares a Catalunya que es va elaborar per a l'Estratègia Catalana per a la Conservació de la Biodiversitat (115 comunitats) i de la llista de plantes rares i/o amenaçades i endèmiques a Catalunya (Sáez *et al.*, 1998; Sáez & Soriano, 2000), de la qual s'han considerat tots els tàxons (espècies i subespècies) endèmics o subendèmics (276 en total).

L'àrea d'implantació (I_3)

Valora de forma inversa la mida mitjana dels hàbitats, partint del supòsit que com més petita és aquesta mida més greus poden ser els efectes d'una actuació antròpica d'impacte territorial. S'ha fet una discretització per judici expert de la superfície mitjana dels polígons corresponents a cada hàbitat (taula 1). En el cas dels polígons amb un sol hàbitat, aquest valor discretitzat és directament I_3 , mentre que per als polígons amb més d'un hàbitat s'ha optat per assignar-los el màxim dels valors dels diversos hàbitats que el componen.

L'estadi sucesional (I_4)

Mesura la proximitat a la vegetació potencial, discretitzada en quatre nivells: 1) inicial: especialment inestable i amb capacitat d'evolució

molta alta (conreus, vegetació ruderal, llits dels rius amb vegetació herbàcia nitròfila, argelagars, repoblacions forestals sense sotabosc llenyós, etc.); 2) poc madur: generalment mantingut amb determinades accions perturbadores, sobretot tala, foc i pastura (brolles, matollars, bardisses, prats mesòfils, prats de dall, etc.); 3) mitjanament madur: proper a l'hàbitat potencial (boscos caducifolis, escleròfil·les amb pins, pinedes secundàries amb sotabosc format per les espècies de l'hàbitat potencial, avellanoses, alguns matollars i màquies, etc.), i 4) molt madur: constituït per una comunitat climàtica o permanent (alzinars, rouredes, fagedes, vernedes, prats i matollars alpins, vegetació de sòls salins, vegetació de roques i tarteres, vegetació natural de platges i dunes, etc.).

A cada polígon de la CHC se li ha assignat el seu estat de la successió mitjà, calculat com la mitjana dels valors de la successió de cada hàbitat que el componen, ponderada pel recobriment d'aquests hàbitats. L'indicador I_4 resulta, llavors, d'assignar les unitats discretes corresponents de la taula 1.

La fragilitat ecològica (I_5)

Fragilitat s'oposa a estabilitat i se sol considerar equivalent de vulnerabilitat. Es refereix a la sensibilitat del component vegetal dels hàbitats, tot i que cal tenir en compte que la fragilitat dels diferents constituents dels ecosistemes sol anar-hi lligada (vegetació, sòl, etc.). S'ha fet, en primer lloc, una classificació experta de la fragilitat dels hàbitats de Catalunya, projectant cap a un futur immediat les tendències de canvi dels paisatges observades els darrers anys. Es fonamenta en quatre aspectes d'importància decreixent: 1) probabilitat de desaparició relacionada amb els processos de canvis de paisatge, deguts a accions directes (foc, alteracions hidrològiques...) o bé a l'abandonament de pràctiques tradicionals (dall, pastura...); 2) capacitat de recuperació

de la vegetació davant de les perturbacions (resiliència); 3) dependència de determinats hàbitats respecte de condicionants ecològics molt estrictes, sovint fràgils en sí mateixos, susceptibles d'alteració o desaparició, i 4) situació més o menys extrema dels hàbitats a Catalunya.

L'assignació de la fragilitat ecològica a cada polígon s'ha fet de la manera següent: en el cas dels polígons amb un sol hàbitat, aquest valor discretitzat és directament I_5 , mentre que per als polígons amb més d'un hàbitat s'ha optat per assignar-los el màxim dels valors dels diversos hàbitats que el componen.

L'índex d'interès corològic (IIC)

És freqüent la valoració del patrimoni natural sobre la base de criteris de distribució d'espècies i hàbitats (Mallarach, 1999). A l'escala més general, aquests criteris coincideixen amb aspectes biogeogràfics. Als territoris mediterranis, per exemple, els elements alpins, subalpins o eurosiberians han estat especialment determinants en la delimitació d'espais protegits, com ara el Montseny o les muntanyes de Prades (Folch, 1988). A escales més locals, l'ecologia clàssica també es fa especial ressò del diferent valor de conservació que poden presentar les poblacions i els hàbitats del centre de l'àrea de distribució d'un tàxon, així com les de la seva perifèria. S'han seleccionat cinc indicadors: I_6 , valor biogeogràfic; I_7 , extensió territorial; I_8 , diversitat topogràfica; I_9 , agrupació espacial, i I_{10} , excentricitat espacial. L'IIC és el resultat de la suma dels valors discretitzats dels cinc indicadors i del reescalat del valor final mitjançant el procediment emprat per a l'IIIH (vegeu apartat precedent).

El valor biogeogràfic (I_6)

Valora els hàbitats tenint en compte la singularitat de la seva àrea de distribució, de

manera similar a treballs previs (Carrillo *et al.*, 2003; Ferré *et al.*, 2004). Els hàbitats han estat classificats per judici expert, tenint en compte els següents criteris: 1) la seva extensió territorial, valorant menys els hàbitats més estesos i pluriregionals, i més els propis d'àrees biogeogràfiques més petites; 2) la seva associació amb límits biogeogràfics (latitudinals, longitudinals, altitudinals o d'altra mena), complementant en aquests casos la valoració relativa al criteri precedent (en els hàbitats d'àrea més restringida, endèmics de Catalunya o quasi, com que sempre es dona una situació de límit, aquesta valoració suplementària l'hem aplicat només en el cas que es tracti d'un límit de tipus zonal, o relatiu no només a aquell hàbitat, sinó a tot un conjunt d'hàbitats de significat similar: límit septentrional del conjunt de matollars xeroacàntics ibèrics, per exemple), i 3) situacions particulars: la valoració dels hàbitats litorals i en general de tots aquells amb situacions de disjunció marcada també ha estat complementada.

L'assignació del valor biogeogràfic de cada polígon s'ha fet de la manera següent: en el cas dels polígons amb un sol hàbitat, aquest valor discretitzat és directament I_6 , mentre que per als polígons amb més d'un hàbitat s'ha optat per assignar-los el màxim dels valors dels diversos hàbitats que el componen.

L'extensió territorial (I_7)

Valora la superfície relativa de l'hàbitat, donant més valor als que tenen l'àrea més petita, és a dir, als hàbitats més escassos. És, per tant, un indicador comú per a tots els polígons d'un determinat hàbitat. Els hàbitats de la CHC han estat classificats en categories discretes segons el percentatge de la superfície que ocupen (taula 1). Aquest percentatge s'ha obtingut sumant la superfície dels polígons on es troben, ponderada pel recobriment de l'hàbitat en aquell polígon, i convertint des-

prés el resultat en percentatge de la superfície de Catalunya.

A cada polígon de la CHC se li ha assignat la seva extensió territorial en funció dels hàbitats que conté, calculant la mitjana dels valors de cada hàbitat que el componen ponderada pel recobriment d'aquests hàbitats. I_7 s'obté, llavors, de transformar aquesta mitjana en les unitats discretes de la taula 1.

La uniformitat topogràfica (I_8)

Aquest indicador integra dos paràmetres: un (I_{8a}) que valora la restricció de l'interval altitudinal i l'altre (I_{8b}) que valora la restricció d'orientacions, partint de la hipòtesi que ambdues limitacions topogràfiques reflecteixen una especificitat de requeriments ecològics. La primera s'ha valorat directament a partir del rang d'altituds en què és present un hàbitat. Per a la segona, en canvi, s'ha calculat primerament la diversitat d'orientacions que ocupa cada hàbitat a partir de l'índex de Shannon I_s .

$$I_s = -\sum o_i \text{Log}_2(o_i)$$

On o_i correspon a la freqüència relativa de cada orientació i n al nombre d'orientacions diferents en cada hàbitat. En tots dos casos s'ha fet una classificació experta dels valors altitudinals i d'orientació dels hàbitats de la CHC (taula 1). Com més rang altitudinal i més diversitat d'exposicions menors han estat els valors respectius d' I_{8a} i I_{8b} . Els valors d'aquests paràmetres per a cada polígon s'han calculat separatament, com la mitjana dels valors discretitzats de cada hàbitat que el componen, ponderada pel recobriment d'aquests hàbitats. Finalment s'ha calculat I_8 com la suma d' I_{8a} i I_{8b} , assignant a l'altitud un valor doble que el de l'exposició i convertint en unitats discretes el resultat final:

$$I_8 = (2 I_{8a} + I_{8b}) / 3$$

L'agregació espacial (I_9)

Valora la dispersió dels hàbitats a partir de la distància mitjana al centre de distribució de cada hàbitat a Catalunya. Es parteix de la base que com més agregat és un hàbitat més vulnerable serà a perturbacions en el territori. Aquesta agregació s'ha calculat a partir dels centres de coordenades dels quadrats UTM de 2×2 km on es troba cadascun dels hàbitats (x_i, y_i). S'ha trobat el centroide de cada hàbitat (X, Y), corresponent a la mitjana de coordenades UTM:

$$(X, Y) = \sum (x_i, y_i) / n$$

On n és el nombre de quadrícules UTM ocupades per cada hàbitat. Posteriorment s'ha calculat la dispersió mitjana de les quadrícules UTM on es troba cada hàbitat (D), estimada a partir dels centres de coordenades d'aquestes:

$$D = \sum [(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2]^{1/2} / n$$

L'agregació espacial de cada polígon de la CHC ha estat estimada, llavors, com la suma dels valors dels diversos hàbitats que el componen, ponderada pel recobriment d'aquells. Transformant aquesta mitjana ponderada en les unitats discretes de la taula 1 s'obté I_9 .

L'excentricitat espacial (I_{10})

Mesura el grau de perifèria de cada polígon d'un hàbitat respecte del centre de distribució global de l'hàbitat en l'àmbit d'estudi considerat, en el nostre cas Catalunya. Una posició excèntrica d'un determinat polígon d'hàbitat es relaciona amb una situació perifèrica, que pot tenir un interès biogeogràfic. És el cas, per exemple, de les fagedes dels Ports, absolutament perifèriques (respecte de la resta de les fagedes de Catalunya) i, per aquest motiu, biogeogràficament interessants. Però també pot ser el cas d'hàbitats mediterranis d'àrea

de distribució restringida: els perifèrics segueixen tenint un interès corològic especial.

S'ha partit dels centroides dels hàbitats i dels centres de coordenades de les quadrícules UTM de 2×2 km ocupades per cada hàbitat, calculats tots ells a l'indicador precedent. En primer lloc s'ha calculat l'excentricitat de cada polígon segons la fórmula:

$$E = D_i / D$$

On D correspon a la dispersió mitjana de les quadrícules UTM on es troba cada hàbitat i D_i és la distància de cada polígon al centroide de l'hàbitat corresponent, és a dir:

$$D_i = \sum [(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2]^{1/2} / n_2$$

On n_2 és el nombre d'UTM que cauen dins del polígon considerat. La transformació en classes discretes dels valors d' E és el darrer pas per a obtenir I_{10} (taula 1). Degut a les grans dificultats metodològiques que implicava tenir en compte tots els hàbitats d'un polígon en el càlcul d'aquest indicador, s'ha optat per considerar només l'hàbitat principal.

L'índex d'estructura ecopaisatgística (IEE)

L'IEE pretén quantificar la capacitat del territori d'acollir espècies i processos ecològics, d'acord amb els postulats teòrics de l'ecologia del paisatge, segons els quals existeix una relació entre l'estructura i el funcionament ecològic del paisatge (vegeu, per exemple, Forman, 1995). S'han seleccionat els següents indicadors: I_{11} , el potencial de relació entre unitats del paisatge; I_{12} , l'heterogeneïtat de contacte entre aquestes unitats; I_{13} , la integritat territorial davant d'una afectació antròpica, i I_{14} , la complexitat de l'estructura vertical. Per a calcular els diferents indicadors que configuren l'IEE, ha calgut agrupar els hàbitats en unitats més genèriques, en funció de criteris fisiognòmics, de la successió, biogeogràfics i ecològics en general (taula 2).

De nou, l'IEE és el resultat de la suma dels valors discretitzats dels cinc indicadors i del reescalat del valor final mitjançant el procediment emprat per a l'IIIH (vegeu apartat corresponent).

El potencial de relació entre unitats de paisatge (I_{11})

Els postulats teòrics de l'ecologia del paisatge (Forman, 1995) relacionen el manteniment de la biodiversitat amb la mida dels fragments d'hàbitat i la distància entre aquests. En general, els fragments més grans i els més propers als continents d'hàbitat (o porcions d'hàbitat continu que queden) acullen una riquesa més gran d'espècies i poden suportar millor els processos essencials per als ecosistemes.

Un dels aspectes més problemàtics d'aquest indicador és determinar quina és la mida mínima funcional dels diversos hàbitats. Marull & Mallarach (2002) recullen de la bibliografia uns llindars mínims d'àrea per a diversos hàbitats que poden ser considerats com a mides mínimes funcionals. Recolzam-nos en aquesta proposta, s'introdueix el concepte de *superfície o dimensió efectiva*, que pondera la mida dels hàbitats per diverses característiques d'aquests. Estimem, llavors, la dimensió efectiva dels polígons (S_e) com un quocient entre la seva superfície (S) i una constant, anomenada *dimensió característica* (K), pròpia de cada hàbitat:

$$S_e = S / K$$

Al seu torn, l'estimació de K s'ha dut a terme en funció de dos criteris:

1. Hospitalitat de l'hàbitat (H). S'assumeix que com menys extrem (més humit, amb més recursos tròfics, amb millors condicions de temperatura, salinitat, llum, etc.) sigui l'am-

bient menys necessitat d'àrea presentarà per a assolir un màxim nombre d'espècies. Es defineixen les categories següents: 1) hàbitats òptims (eutròfics, humits, etc.); 2) hàbitats mèsics; 3) hàbitats mesohalins i mesoxèrics; 4) hàbitats xèrics, i 5) hàbitats extrems (salins, guixencs, sorrencs, rocosos).

2. Port de la formació vegetal (P). Es parteix de la hipòtesi que com menys port tingui la vegetació menys necessitat d'àrea tindrà. Es defineixen, llavors, les categories següents: 1) comunitats terofítiques, hidrofítiques, de camèfits i hemicriptòfits glareícoles, i conreus; 2) comunitats hemicriptofítiques i camefítiques; 3) comunitats d'helòfits i nanofaneròfits, i 4) comunitats de macrofaneròfits. Als conreus se'ls ha assignat un valor arbitrari de 3.

Aquests dos criteris s'han combinat per a donar K segons l'expressió:

$$K = (H + P^2) / 4$$

Es fa servir una estima ponderada de K , en funció dels hàbitats presents en cada polígon i del seu recobriment relatiu:

$$K_u = \sum (r_i K)$$

Es planteja, llavors, el potencial de relació entre hàbitats (R) com una mesura del potencial gravitatori entre les dimensions efectives dels diversos polígons i les seves distàncies relatives. La mesura s'inspira en la llei de la gravitació universal de Newton i és acumulativa (com més polígons i més propers més potencial de relació entre hàbitats):

$$R = \sum (S_e s_{ei} / d_i^2)$$

On S_e és la dimensió efectiva del polígon problema, s_{ei} la de la resta dels polígons afins i d_i la distància entre el polígon problema i cadascun dels afins. L'indicador I_{11} és, llavors, una discretització de R segons les classes de la taula 1.

L'heterogeneïtat de contacte entre unitats de paisatge (I_{12})

El potencial de relació de les taques d'hàbitat és un atribut determinant per a l'acollida d'espècies i processos, però no per a totes aquelles espècies que exploten les fronteres entre hàbitats (també anomenats *marges* o *ecotons*) o bé diversos hàbitats alhora i que han estat anomenades *espècies de marge* (Forman, 1995). En conseqüència, es pretén valorar la disponibilitat d'ecotons i el seu grau d'heterogeneïtat en funció de dos criteris assignats per judici expert:

1. Contrast fisiognòmic (C_f). Calculat a partir de les següents valoracions sobre les unitats genèriques: 0, no considerat (tots els contactes amb els hàbitats urbans i viaris); 1, baix (contactes entre unitats fisiognòmiques semblants: bosc-bosc, matollar-matollar, prat-prat); 2, moderat (contactes bosc-matollar, matollar-prat, bosc - conreu arbori, matollar - conreu arbori, matollar - comunitats helofítiques, prat - comunitats glareícoles, prat - comunitats helofítiques, conreus-helòfits, conreus herbacis - conreus arboris, etc.); 3 alt (helòfits - comunitats glareícoles, matolls-hidròfits, matollar - comunitats glareícoles, bosc - comunitats glareícoles, bosc-prat, etc.).

2. Contrast ecològic (C_e). En el càlcul es fan les següents valoracions: 0, no considerat (tots els contactes amb els hàbitats urbans i viaris), baix, moderat i alt.

De la mitjana d'ambdós factors (C_f i C_e) es calcula l'índex de contrast C_u entre unitats del paisatge. Finalment, el contrast ecotònic (C) queda formulat com:

$$C = \sum (C_u P_c) / P_t$$

On C_u és el contrast entre unitats, P_c el perímetre de contacte entre polígons i P_t el perímetre total del polígon. Finalment s'obté I_{12}

assignant als polígons el valor discret corresponent segons la taula 1. Com a I_{11} , la complexitat del procediment d'obtenció d' I_{12} ha obligat a restringir els càlculs a l'hàbitat principal de cada polígon.

La integritat de les unitats del paisatge (I_{13})

El contacte amb hàbitats antròpics és una font essencial de perturbacions de tota mena (contaminació, soroll, freqüentació, etc.) dels fragments d'hàbitats naturals i seminaturals. Es proposa, per tant, un algorisme que pretén valorar la integritat dels hàbitats (I) davant d'usos urbans o viaris, mitjançant una aproximació quantitativa ponderada en funció de la dimensió efectiva dels hàbitats:

$$I = K P_a / S$$

$$P_a = P_i + P_d$$

On P_a és el perímetre d'afectació antròpica, P_i el perímetre inclòs, P_d el perímetre adjacent al polígon en qüestió, K la dimensió característica de l'hàbitat principal de cada polígon i S la superfície d'aquest polígon. I_{13} correspon a la transformació d' I en les classes discretes recollides a la taula 1.

La complexitat vertical de les unitats del paisatge (I_{14})

El nombre d'espècies que pot acollir un paisatge és també resultat de la complexitat estructural de les seves unitats. En general, cal esperar un augment de la biodiversitat en relació amb un increment de l'estructura vertical, des de les comunitats herbàcies fins a aquelles que presenten més d'un estrat arbore. Atesa la dificultat de cercar unes regles bàsiques que relacionin la complexitat estructural de les comunitats amb la biodiversitat que suporten, s'ha optat per valorar mitjançant judici expert els diversos hàbitats de la CHC, assignant-los a les classes següents: 1) comu-

nitats herbàcies baixes i conreus anuals; 2) comunitats arbustives baixes i herbàcies altes, així com conreus herbàcies perennes; 3) comunitats arbustives altes i arbòries baixes, i conreus llenyosos, i 4) comunitats arbòries altes. En la fórmula matemàtica, es calcula I_{14} com la mitjana dels valors discrets d'estructura vertical dels diversos hàbitats de cada polígon, ponderats pel recobriment d'aquests hàbitats. Finalment s'assignen als polígons les classes discretes corresponents segons la taula 1.

L'índex de servei ecosistèmic (ISE)

Cada cop és més gran el consens sobre la necessitat d'incloure —a més dels valors taxonòmics, ecològics, biogeogràfics o de conservació tradicionals— els serveis que ens proporcionen els ecosistemes en llur valor de conservació. En aquest sentit, cal destacar els primers intents d'identificar i valorar en termes econòmics els serveis prestats pels hàbitats naturals i seminaturals (Constanza *et al.*, 1997). Els indicadors que s'han triat per a fer una primera aproximació al servei ecosistèmic que poden proporcionar els hàbitats a Catalunya són: I_{15} , la fixació de diòxid de carboni; I_{16} , la capacitat de regulació hídrica; I_{17} , el control de l'erosió, i I_{18} , l'aprofitament potencial per al lleure. Com als tres índexs parcials precedents, l'ISE és el resultat de la suma dels valors discretitzats dels quatre indicadors i del reescalat del valor final mitjançant el procediment ja detallat a l'IIIH.

La fixació de CO_2 (I_{15})

La capacitat de fixació de CO_2 és un criteri de valoració ambiental de primer ordre des de la celebració de la Tercera Conferència de les Parts de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (Kyoto, 1997), on es pretenia iniciar un control sobre les emissions d'aquest gas d'efecte hivernacle. La valoració de la capacitat dels hàbitats

TAULA 2. Unitats genèriques considerades a l'IEE.

Bosc primari o quasicomunitat, mediterrani	Prats secundaris, subalpins, montans i mediterrani-montans
Bosc secundari i repoblacions, mediterrani i submediterrani	Comunitats comofitiques i casmofitiques de cinglera
Bosc primari o quasicomunitat, altimontans i subalpins	Codolar i tarteres amb vegetació
Bosc primari o quasicomunitat, montans i submediterrani	Comunitats de congestera
Bosc primari o quasicomunitat, de ribera	Prats de dall
Bosc secundari i repoblacions, montans i subalpins	Comunitats terofitiques de substrat pobre i sec
Matollars permanents d'alta muntanya i muntanya mediterrània	Conreus herbacis de secà
Matollars secundaris mediterranis	Conreus arboris de secà i plantacions de coníferes
Matollars secundaris, eurosiberians i mediterrani-montans	Conreus arboris de regadiu i pollancredes
Herbassars i jonqueres	Conreus herbacis de regadiu
Comunitats helofitiques	Arrossars
Matollars i prats halòfils o gipsòfils	Hàbitats aquàtics, continentals, litorals o marins
Prats d'alta muntanya	Molleres i comunitats fontinals
Prats secundaris, mediterranis	Comunitats de platja i duna
Comunitats ruderals i arvenses: erms, ambients ruderals, etc.	Hàbitats antròpics i d'altres, amb poca vegetació

d'acumular CO₂ topa, tanmateix, amb dificultats conceptuals i metodològiques, derivades de trobar-ne el millor estimador. L'estimador òptim seria la producció neta de l'ecosistema (PNE), del que actualment només tenim alguns resultats preliminars limitats a alguns tipus de bosc (Gracia *et al.*, 1992). Una segona opció és treballar amb la producció llenyosa aèria total (PLAT), que és una aproximació a la producció primària neta arbòria. Actualment es compta amb dades de PLAT per al conjunt de parcel·les d'inventaris forestals com el de Catalunya (IEFC), però aquests només limiten el càlcul de la PLAT a l'estrat arbori.

Per tal d'incorporar-hi hàbitats i estrats arbustius i herbacis proposem treballar amb un indicador més senzill, la biomassa aèria total, que presenta una relació log-log ($r = 0,81$; $p < 0,001$) amb la PLAT satisfactòria per als punts de l'IEFC analitzats. La biomassa és un estimador relativament groller de la capacitat de fixació de CO₂, però, per contra, presenta molts avantatges: 1) és una mesura del CO₂ acumulat, una mena de capital ambiental; 2) es relaciona amb el grau de desenvolupament

de les capes edàfiques, un component essencial en la fixació de CO₂, i en altres funcions ecològiques, i 3) és una mesura estructural essencial, que al seu torn proporciona altres serveis als ecosistemes.

Les dades de biomassa dels boscos s'han obtingut de l'IEFC. S'han seleccionat les parcel·les de bosc relativament pur (dominància de l'espècie principal > 70 % de l'àrea basal), que s'han assimilats a categories genèriques de la CHC (taula 2). S'han obtingut, llavors, les biomasses mitjanes per l'estrat arbori dels diversos boscos purs i, per correspondència, a les diverses categories d'hàbitats. En el cas dels matollars, només es comptava amb dades de biomassa de les espècies dominants d'algunes comunitats tipus, recollides o calculades per Pla (2002). Les biomasses dels diversos matollars recollits a la cartografia d'hàbitats de Catalunya s'han hagut d'estimar a partir del coneixement expert de l'abundància relativa de les diverses espècies i de les seves dimensions mitjanes. Als hàbitats herbacis perennes i a alguns hàbitats fortament antròpics (parcs, conreus llenyosos, conreus abandonats, etc.)

se'ls ha assignat un valor arbitràriament baix de fixació de CO_2 .

El càlcul d' I_{15} ha consistit, llavors, en la mitjana dels valors de biomassa dels diversos hàbitats de cada polígon, ponderats pel recorbriment d'aquests hàbitats, i en la transformació d'aquesta mitjana en les categories de la taula 1.

La regulació hídrica (I_{16})

La capacitat de regulació hídrica segons l'emplaçament és un valor indiscutible a Catalunya que, com la resta de la regió mediterrània, es caracteritza per una alternança de períodes de sequera i de precipitacions abundoses. Els indicadors d'aquesta capacitat són, però, difícils de calcular amb les dades existents actualment i, particularment, sense una cartografia de sòls adequada.

Basem el nostre indicador de regulació hídrica en dos paràmetres: la biomassa dels hàbitats i el grau de convexitat del polígon que ocupen. La biomassa es pot relacionar amb la formació d'un sòl profund, el qual té una relació directa amb: 1) la capacitat d'infiltració d'aigua i 2) la capacitat d'emmagatzematge d'aigua. El grau de convexitat del terreny es relaciona, al seu torn, amb la capacitat d'un punt d'acumular o exportar aigua i sediments. En general, s'admet que la capacitat de regulació hídrica és màxima a les zones còncaues que recullen aigua i mínima a les carenes.

El càlcul de la biomassa dels hàbitats ha estat detallat a l'indicador I_{15} . L'altre component considerat és la convexitat o concavitat del territori. El model digital de concavitats ha estat calculat mitjançant el SIG MiraMon, que aplica un operador laplacian que assigna valors positius a les concavitats, 0 a les planes i negatius a les convexitats (Pons, 2002). La combinació de biomassa i convexitat en un estimador de la regulació hídrica (H) s'expressa de la manera següent:

$$H = (1 + C / C_{max}) \sum (r_i B_i)$$

On C és la convexitat mitjana per polígon i C_{max} la convexitat màxima de l'àmbit d'estudi. Finalment s'obté I_{16} per transformació d' H en unitats discretes (taula 1).

El control de l'erosió (I_{17})

El fenomen de la desertització a la conca mediterrània implica, més que una disminució dels recursos hídrics per una menor precipitació o una major evapotranspiració, una pèrdua irreversible dels sòls que, en molts casos, han estat formats en èpoques passades més favorables (Grove & Rackham, 2001). El risc d'erosió pot relacionar-se amb les característiques climàtiques, edàfiques i topogràfiques del territori, però també amb la vegetació que hi creix i, particularment, amb l'estructura de les comunitats vegetals que hi trobem. En tot cas, però, la valoració de l'erosionabilitat del territori no és senzilla atesa la multitud de factors que hi concorren. Una de les propostes de valoració de l'erosionabilitat del territori més utilitzades és la desenvolupada pels serveis federals d'agricultura dels EUA. Whischmeier & Smith (1978) desenvoluparen, a partir de l'anàlisi de més de deu mil mostres, l'anomenada *equació universal de pèrdua de sòl* (USSLE). Tanmateix, atesa la manca de dades respecte a l'erosionabilitat del substrat i a les pràctiques de conservació que s'hi realitzen, proposem treballar amb una versió reduïda i escalada de la capacitat de retenció de sòl dels hàbitats (R) en funció de tres factors bàsics: capacitat de retenció de sòl de la coberta vegetal, pendent i pluviositat:

$$R = C_s I_m P_m$$

On C_s és la capacitat de retenció de sòl, I_m és el pendent mitjà per polígon i P_m és la

pluviositat mitjana per polígon. C_s s'estima a partir de l'expressió:

$$C_s = \Sigma (r_i Q_{max} / Q_s)$$

On Q_s és la pèrdua de sol per hàbitat i $Q_{max} = 0,45$ és el valor màxim per a zones descobertes segons Whischmeier & Smith (1978). Aquesta informació és disponible, però, només per a categories d'hàbitats molt genèriques, definides a partir del recobriment i el tipus de les cobertes arbòries, arbustives i herbàcies (TRAGSA, 2003). Llavors, el valor de Q_s dels diversos hàbitats de la CHC ha estat inferit a partir dels d'aquestes classes genèriques, assignant per judici expert els hàbitats més semblants a cada classe. Com en la resta dels indicadors calculats amb paràmetres continus, per a obtenir I_{17} , es fa, finalment, una transformació en les unitats de la taula 1.

L'ús lúdic (I_{18})

La valoració del territori segons la capacitat que ofereixen els hàbitats per al lleure serà cada cop més usual en una societat on aquests usos són, precisament, cada cop més importants. Aquesta valoració compta, però, amb molt pocs precedents a Espanya (Múgica, 1994; Múgica & Lucio, 1996). A l'IVPN proposem un indicador d'ús lúdic potencial (L) que és producte de dos factors:

$$L = A_c A_t$$

1. L'accessibilitat potencial de la població (A_c), estimada a partir de la importància (nombre d'habitants) i la distància a la que es troben les diverses àrees urbanes d'un determinat punt. Com a estimador s'ha fet servir un operador de potencial de camp newtonià, semblant a l'utilitzat a I_{11} , per a estimar el potencial de relació entre polígons (W):

$$A_c = \Sigma (P_b / d_i^2)$$

On P_b correspon al nombre d'habitants de cada nucli urbà i d_i a la distància entre el centre de d'aquest i cada punt del territori.

2. L'atractivitat (A_t), que es basa en la suma de quatre factors estimats sobre una classificació molt genèrica dels hàbitats de la CHC:

$$A_t = \Sigma Z_n$$

–Fisiognomia (Z_1): 1) conreus abandonats i ambients ruderals; 2) conreus en actiu i matollars; 3) prats de pastura; 4) boscos.

–Fitogeografia (Z_2): 1) mediterrani meridional i continental; 2) mediterrani septentrional; 3) submediterrani i eurosiberià; 4) subalpí i alpí.

–Abundància d'aigua (Z_3): 1) hàbitats xèrics; 2) hàbitats mesoxèrics; 3) hàbitats mèsics o higrofils; 4) hàbitats aquàtics o semiaquàtics.

–Estructura paisatgística (Z_4): aquest factor deriva de la reclasseficació dels hàbitats en categories bàsiques i de la seva agrupació en unitats ecològiques seguint el procediment de Marull i Mallarach (2002) a l'ICE. Categoritzem llavors l'estructura paisatgística segons la següent valoració: 4, àrees de bosc i mosaics bosc-matoll amb matriu > 80 % de bosc; 3, mosaics bosc-matoll amb 60-80 % de bosc, mosaics bosc-conreu amb més del 50 % de bosc i mosaics prats de pastura - bosc amb més del 50 % de bosc; 2, mosaics agroforestals amb més del 50 % de conreus i mosaics bosc - prats de pastura amb més del 50 % de prats; 1, altres mosaics, matolls, conreus i tipologies residuals.

I_{18} correspon a la discretització de L segons les categories recollides a la taula 1. Atesa la complexitat del procediment d'obtenció d' I_{18} , els càlculs s'han restringit a l'hàbitat principal en el cas de polígons amb més d'un hàbitat.

Primeres valoracions i conclusions

L'IVPN no és un treball experimental ni segueix moltes de les normes universalment acceptades en un treball científic, sinó un treball preliminar de gabinet elaborat a partir d'una informació limitada i del criteri de diversos experts. Cal valorar-lo com una primera proposta metodològica, oberta a debat (d'aquí l'interès de la seva publicació) i que haurà de passar per una fase de verificació i de consulta a experts externs abans de poder ser aplicat en l'AAE. Proporciona una primera aproximació per a quantificar el valor del patrimoni natural del conjunt de Catalunya amb criteris homogenis i sense apriorismes (com ara els que es derivarien de considerar de forma diferencial els espais protegits i la resta del territori). No se'n coneixen gaires precedents, probablement per les dificultats d'implementació degudes a la manca d'informació geogràficament referenciada, suficientment precisa i que cobreixi la major part del territori. Seguidament procedim a fer una valoració de l'IVPN, basada en una discussió dels materials i els mètodes emprats, els resultats obtinguts i llur possible utilitat en la planificació territorial.

Els materials

L'IVPN assoleix el seu objectiu de tractar el territori de forma homogènia gràcies a la posada a punt en temps recents de la CHC i del projecte BIOCAT. Tanmateix, la utilització d'una sola informació de base relacionada amb el patrimoni natural presenta l'inconvenient de generar distorsions en aquells components de la biodiversitat menys correlacionats amb la informació disponible. Les mancances són, d'altra banda, importants pel que fa als sòls i al component geològic del patrimoni natural, cosa que fa que l'actual versió de

l'IVPN sigui en realitat un índex de valoració del patrimoni biològic —i encara parcial—. En un futur proper caldrà fer validacions dels resultats de l'IVPN considerant altres components de la biodiversitat. Per a aquesta tasca poden ser de gran utilitat treballs recents amb informació de fins d'1 × 1 km de resolució, com l'*Atlas dels ocells nidificants de Catalunya* (Estrada *et al.*, 2004) o d'altres atles de vertebrats amb dades per UTM de 10 × 10 km (Palomo & Gisbert, 2002; Pleguezuelos *et al.*, 2002; Martí & del Moral, 2003). Alternativament, es podria completar l'IVPN amb aquesta informació complementària, tant biològica com relativa als substrats i a les formacions geològiques, al sòl i al patrimoni paleontològic, entre d'altres. No es pot ser, tanmateix, gaire optimista pel que fa a aquest component no biològic del patrimoni natural, atesa la manca de cartografia suficientment precisa i extensa. Entre les poques capes d'informació que es podrien incloure figuren els espais d'interès geològic recollits a l'*Inventari d'espais d'interès geològic de Catalunya* (vegeu <http://mediambient.gencat.net/cat/inici.jsp>). La delimitació d'aquests espais encara està, però, subjecta a revisió.

El mètode

L'IVPN pot ser considerat un exemple de les tendències actuals en la valoració del patrimoni natural, que busquen suplir amb algorismes bona part del que abans era confiat a la intuïció i al coneixement expert (Justus & Sarkar, 2002). L'encert dels models de valoració és conseqüència directa dels algorismes de càlcul emprats i, també, dels paràmetres que els integren. Mallarach (1999) destaca la necessitat que les valoracions del patrimoni natural estiguin fonamentades en un nombre suficient de criteris que atorgui robustesa als resultats. La tria dels indicadors també porta

TAULA 3. Valors de l'estadístic *Tau-b* (*T*) de Kendall obtinguts en les comparacions per parelles dels diversos indicadors de l'IVPN mitjançant taules de contingència. Totes les comparacions donen una associació significativa entre indicadors per al test de la χ^2 i una $P < 0.001$. En negreta es presenten els valors de $T \geq 0.6$.

	<i>I</i> ₁	<i>I</i> ₂	<i>I</i> ₃	<i>I</i> ₄	<i>I</i> ₅	<i>I</i> ₆	<i>I</i> ₇	<i>I</i> ₈	<i>I</i> ₉	<i>I</i> ₁₀	<i>I</i> ₁₁	<i>I</i> ₁₂	<i>I</i> ₁₃	<i>I</i> ₁₄	<i>I</i> ₁₅	<i>I</i> ₁₆	<i>I</i> ₁₇
<i>I</i> ₁																	
<i>I</i> ₂	0,15																
<i>I</i> ₃	0,10	0,01															
<i>I</i> ₄	0,41	-0,04	0,28														
<i>I</i> ₅	0,27	0,27	0,19	0,55													
<i>I</i> ₆	0,39	0,04	0,35	0,77	0,58												
<i>I</i> ₇	0,06	-0,16	0,39	0,37	0,20	0,32											
<i>I</i> ₈	-0,21	-0,09	0,13	-0,10	0,09	-0,12	0,30										
<i>I</i> ₉	0,03	-0,18	0,02	0,20	0,00	0,16	0,35	-0,11									
<i>I</i> ₁₀	0,15	0,14	0,07	0,15	0,22	0,16	0,23	0,02	0,18								
<i>I</i> ₁₁	0,09	-0,10	-0,32	0,04	-0,05	0,05	-0,08	-0,15	-0,02	-0,06							
<i>I</i> ₁₂	0,12	0,08	-0,15	0,03	0,20	0,00	-0,05	0,03	-0,18	0,09	0,12						
<i>I</i> ₁₃	0,16	0,08	0,00	0,15	0,09	0,16	0,12	-0,08	0,09	0,11	0,13	0,32					
<i>I</i> ₁₄	0,30	-0,34	0,07	0,58	0,29	0,51	0,24	-0,10	0,00	0,04	0,16	0,11	0,09				
<i>I</i> ₁₅	0,37	-0,32	0,21	0,70	0,49	0,63	0,25	-0,14	0,17	0,06	0,09	0,11	0,04	0,71			
<i>I</i> ₁₆	0,43	-0,14	0,31	0,79	0,57	0,73	0,33	-0,15	0,18	0,12	0,07	0,08	0,11	0,67	0,88		
<i>I</i> ₁₇	0,43	0,12	0,21	0,61	0,57	0,67	0,29	-0,13	0,05	0,19	0,14	0,08	0,23	0,47	0,53	0,66	
<i>I</i> ₁₈	0,04	-0,12	0,14	0,36	0,38	0,35	0,17	0,16	-0,29	-0,06	0,04	0,09	-0,13	0,46	0,47	0,44	0,36

implícit el problema de la redundància en la informació que aquests aporten. En el cas de l'IVPN s'ha fet una primera anàlisi d'aquesta redundància mitjançant anàlisis de la contingència, comparant per parelles els indicadors de tots els polígons de la CHC inclosos a l'índex (60.156 polígons) i obtenint per a cada comparació l'estadístic *Tau-b* de Kendall (*T*) (taula 3), considerat el més adequat per a comparar variables ordinals (Agresti 1984). Totes les comparacions han donat una associació significativa entre indicadors, resultat totalment esperable degut al gran nombre de polígons analitzat. Atès que en general s'obtenen valors mitjans de l'estadístic ($T < 0,6$), podem concloure que el nivell de redundància entre indicadors i índexs parcials és moderat i que, per tant, la informació que aporten és re-

lativament complementària i ajuda a enriquir el resultat final. Cal destacar, però, que els indicadors de servei ecosistèmic basats en la biomassa (*I*₁₅ i *I*₁₆) i l'*I*₁₄ (estructura vertical) que indirectament reflecteix aquella, mostren una redundància destacable ($T > 0.7$) entre sí, i amb l'estadi successional (*I*₄) i el valor biogeogràfic (*I*₆). En futures versions de l'IVPN caldrà considerar l'eliminació d'alguns d'aquests indicadors redundants.

La combinació de paràmetres en indicadors i índexs sempre porta associats problemes derivats de la informació que s'utilitza i de la manera com es relaciona (Andreasen *et al.*, 2002; Stoms, 2002). En el cas de l'IVPN s'ha optat per combinar els indicadors i índexs parcials de la manera més simple possible, utilitzant combinacions additives o multipli-

catives i no assignant pesos diferencials als elements si no es compta amb informació contrastada pel que fa al cas. La combinació dels diversos elements pren especial rellevància pel que fa a l'índex global —l'IVPN— que resulta de la combinació de variables de temàtica molt diferenciada. Per tot plegat subratllem la necessitat de realitzar en el futur anàlisis de sensibilitat de l'IVPN i dels seus índexs parcials (IIH, IIC, IEE, ISE), partint dels indicadors, els paràmetres i les constants principals que intervenen en els algorismes considerats. Mentrestant, però, constatem que la nostra aproximació ofereix el valor de la transparència de l'índex, ja comentat anteriorment. El mètode emprat permet que, tant o més que l'IVPN, els seus índexs parcials o fins i tot els diversos indicadors puguin ser aplicables per si mateixos en la presa de decisions sobre el territori.

Els resultats

Fidel a una concepció holística del patrimoni natural, l'IVPN aposta per considerar els diversos nivells d'organització dels sistemes naturals i combinar els criteris de valoració clàssics amb d'altres de relativament nous. La incorporació d'aquests nous criteris respon a la necessitat de fugir de valoracions excessivament academicistes i centrades en els organismes i els hàbitats, o en determinats contextos biogeogràfics o ecològics. Com a exemple de com treballa aquest índex, presentem una anàlisi de l'IVPN a la zona NE de la plana vallesana (UTM 31N, X_{min} : 440.796; X_{max} : 476.606; Y_{min} : 4.602.746; Y_{max} : 4.628.697). En aquesta zona (figura 2), caracteritzada per una gran diversitat d'hàbitats amb graus de naturalitat també molt diversos, l'IVPN dóna un gran contrast de valors. El màxim (9) és assolit per hàbitats situats a l'interior dels parcs naturals del Montseny i del Montnegre. Es tracta d'hàbitats situats a la perifèria de la

seva àrea de distribució a Catalunya o a Europa i, per tant, excèntrics o biogeogràficament significatius: les avetoses del Montseny (les més meridionals de la península Ibèrica), algunes rouredes de *Quercus petraea* i *Q. humilis* i algunes suredes del Montnegre (de les més meridionals de Catalunya).

Els hàbitats forestals més extensos (alzinars, pinedes amb alzines o sureres, fagedes) prenen valors situats entre 7 i 8, probablement per una barreja de valor biològic, corològic, ecopaisatgístic i ecosistèmic. Les pinedes de pi blanc de la plana vallesana presenten típicament valor 6, perquè compensen el seu escàs interès intrínsec i corològic amb un cert valor ecopaisatgístic, derivat d'uns potencials de relació i contrast ecotònic elevats, i un interès ecosistèmic, sobretot lúdic, notable. Els conreus herbacis de secà, sobretot concentrats a la plana del Vallès, presenten una situació relativament similar a la de les pinedes: el seu interès intrínsec i corològic és pràcticament nul, però en canvi tenen un cert interès ecopaisatgístic (sobretot pel que fa al potencial de relació i al contrast ecotònic) i ecosistèmic (principalment lúdic). Això els determina valors de l'IVPN entre 4 i 5, inferiors als de les pinedes de la plana. Finalment, els conreus envoltats de cobertes urbanes i viàries i les àrees d'urbanització difusa presenten un valor residual (entre 2 i 3). L'anàlisi dels resultats indica, finalment, que el PEIN ofereix un bon nivell de protecció del patrimoni natural en l'àmbit d'estudi considerat, si bé es detecten àrees d'interès que segurament mereixerien ser incloses en ell, així com alternatives per a la connectivitat ecològica d'aquests espais.

Més enllà d'aquestes reflexions al voltant d'una àrea concreta és interessant remarcar les implicacions globals dels resultats. L'IVPN és un índex relatiu que ha estat aplicat al conjunt de Catalunya i, per tant, totes les valoracions es fan en relació amb aquest àmbit territorial, que no coincideix amb cap regió biogeogràfica ni ecològica. A més, la transposició del

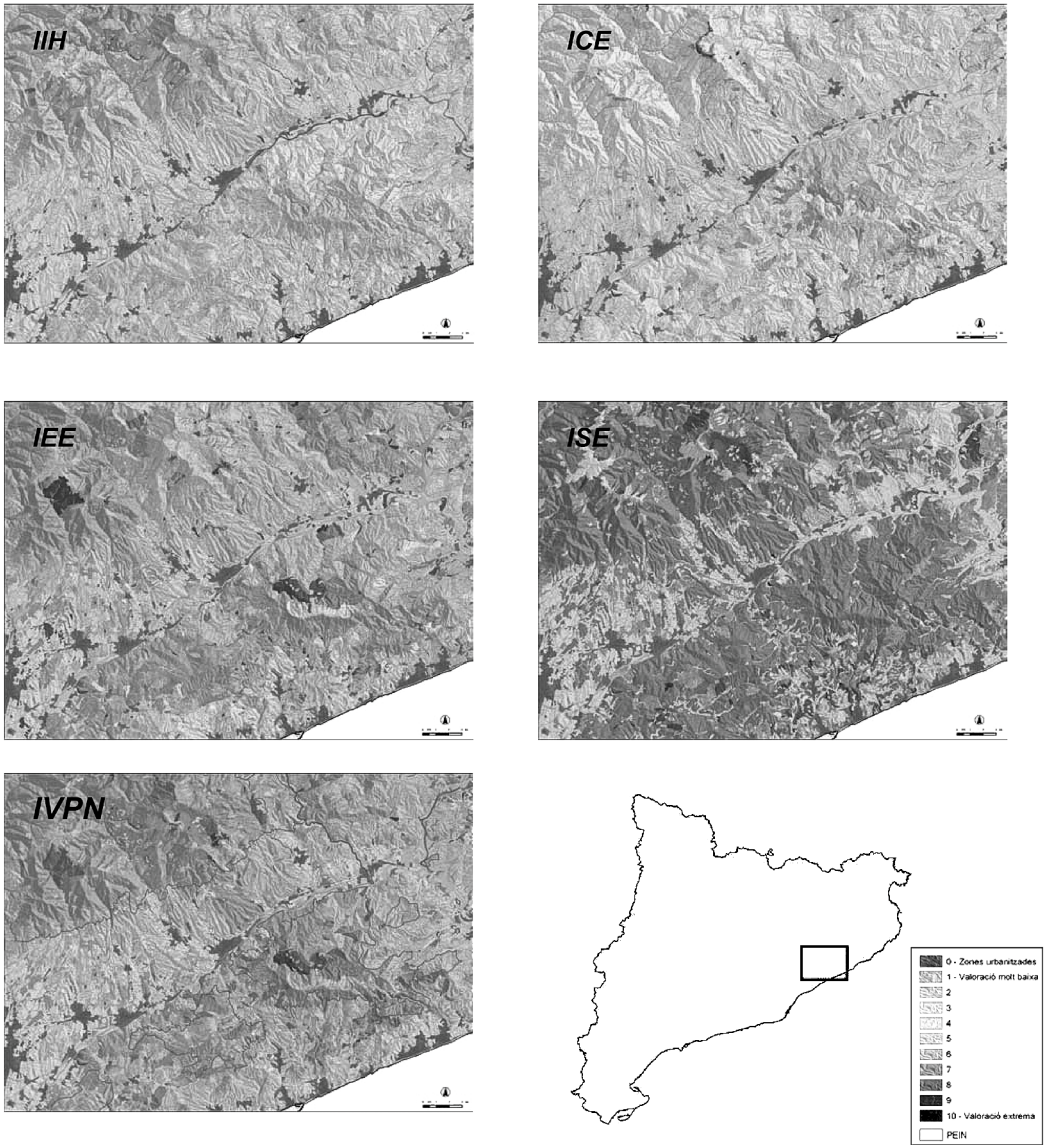


FIGURA 2. Exemple de la representació cartogràfica de l'IVPN i dels seus índexs parcials per a la confluència del Montseny i el Montnegre (vegeu mapa). A l'IVPN s'inclouen els límits dels espais del PEIN.

mètode a territoris de dimensions similars però pertanyents a àmbits ecològics diferents pot generar distorsions que cal analitzar. Igualment, cal determinar encara els efectes derivats de canviar l'escala d'aplicació i consi-

derar àmbits territorials més petits (p. e. comarques). En aquest sentit, convé recordar la vocació de l'IVPN de servir a escales adequades per a plans i programes i, per tant, relatives a territoris relativament extensos.

Epíleg

Més enllà de valoracions acadèmiques, l'IVPN pretén ser principalment una eina d'anàlisi territorial i, per tant, auxiliar del planejament. És una peça més d'un conjunt de tres índexs ecològics fonamentals, proposats per a la seva utilització en l'AAE. En efecte, l'índex de vulnerabilitat de la matriu territorial (IVT₂) —que mesura la resiliència del territori davant de perturbacions d'origen antròpic— i l'índex de connectivitat ecològica (ICE) —que modelitza l'efecte de projectes urbanístics i d'infraestructures sobre la connectància entre els sistemes naturals— complementen la valoració del patrimoni natural, des de dues vessants: una de biofísica i l'altra de funcional. En definitiva, l'objectiu final d'aquests treballs és realitzar una proposta de síntesi que incorpori mesures projectuals, constructives, pressupostàries i, fins i tot, legals, vinculades a diferents plans i programes d'impacte territorial (Marull, 2003).

El llenguatge quantitatiu i cartogràfic de la metodologia desenvolupada facilita la comunicació dels resultats obtinguts a planificadors i enginyers, essent molt àgil la realització de successives iteracions per a comprovar l'efecte que diferents planejaments o mesures correctores poden tenir sobre el patrimoni natural. La resolució cartogràfica de l'IVPN (la CHC ha estat aixecada a escala 1:50.000) permetrà aplicacions en les avaluacions ambientals estratègiques per a tot Catalunya, així com a escales regional, comarcal i subcomarcal, com per exemple en plans de coordinació territorial. A escala del planejament urbanístic, en canvi, l'IVPN (i també l'IVT₂ i l'ICE) constitueix un marc de referència que s'hauria de completar amb avaluacions d'impacte més acurades pròpies d'aquest nivell de planejament ($E < 1:5.000$).

D'altra banda, és evident que l'eficàcia de l'ús d'aquests índexs —o d'altres de simi-

lars— anirà lligada en darrer terme a les disposicions legals que obliguin administradors i tècnics a aplicar-los, com ja passa amb molts altres indicadors socioeconòmics o, fins hi tot, ambientals. Les directrius genèriques de la nova llei urbanística catalana, tot i que representen un pas en aquesta direcció, resulten clarament insuficients. Cal disposar d'uns objectius de sostenibilitat per al conjunt del país, els quals podrien desprendre's de l'Agenda 21 de Catalunya que es troba en curs d'elaboració. No obstant això, cal fer també un important esforç per tal d'adaptar les metodologies de parametrització socioambiental i els procediments d'aplicació a les necessitats i la idiosincràsia dels àmbits professionals i administratius corresponents. En aquest sentit, les primeres aplicacions d'aquestes metodologies han demostrat la seva utilitat pràctica i, el que és molt important, la interacció, tant conceptual com tècnica, amb els planificadors que, en definitiva, són els usuaris finals (Marull, 2005).

Volem acabar com hem començat, declarant el caràcter exclusivament de gabinet del projecte i fent-nos ressò de nou de la necessitat d'una anàlisi de fiabilitat de l'aplicació de l'IVPN i dels seus índexs parcials i indicadors mitjançant estudis de camp, portats a terme per un grup interdisciplinari qualificat, abans de llur aplicació regular al territori. En aquesta mena d'estudis apareix de forma recurrent la necessitat de validar les aproximacions de gabinet amb mostres de camp, degut a la poca quantitat i resolució espacial de la informació cartogràfica sobre patrimoni natural amb què s'acostuma a comptar. La realització de mostres d'aquesta mena, amb el concurs de diversos especialistes, comporta una inversió de recursos considerable, i la relació benefici-cost no sempre és assumible per les administracions. Una alternativa assenyada és començar per un estudi pilot i continuar si és possible amb una fase més detallada i extensa.

Agraïments

Els autors agraeixen les valuoses aportacions de Jaume Terradas i Josep Maria Mallerach en la revisió final d'aquest treball.

Bibliografia

- AGRESTI, A. 1984. Analysis of ordinal categorical data. John Wiley & Sons. New York.
- ANDREARSEN J. K.; O'NEILL, R. V.; NOSS, R. & SLOSSER, N. C. 2001. Considerations for a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators*, 1: 21-35.
- CARRILLO, E.; FERRÉ, A.; GRANIER, G. & NINOT, J. M. 2003. Evaluación del interés natural del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici a partir de la cartografía de hàbitats CORINE. *Acta Botanica Barcinonensia*, 49: 357-374.
- COSTANZA, R. (et al.) 1997. The value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387: 253-260.
- ESTRADA, J.; PEDROCCHI, V.; BROTONS, L. & HERRANDO, S. (ed.) 2004. *Atlas dels ocells nidificants de Catalunya 1999-2002*. Institut Català d'Ornitologia. Lynx Edicions. Barcelona.
- FERRÉ, A.; CARRERAS, J.; CARRILLO, E. & NINOT, J. M. 2004. Assessing the natural interest of the landscape of Andorra, a mountain country under contrasting change of land use. *Acta Botanica Gallica*, 151.
- FOLCH, R. (ed.) 1988. *Natura ús o abús? Llibre blanc de la gestió de la natura als Països Catalans*. 2a ed. Barcino. Barcelona.
- FOLCH, R. & MARULL, J. 2004. *Índex de vulnerabilitat de la matriu territorial (IVT)*. Generalitat de Catalunya. Departaments de Medi Ambient i Política Territorial i Obres Públiques. Informe inèdit.
- FORMAN, R. T. T. 1995. *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press. Cambridge.
- GRACIA, C. (et al.) 1992. *Inventari ecològic i forestal de Catalunya. Mètodes*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Barcelona.
- GROVE, A. T. & RACKHAM, O. 2001. *The nature of Mediterranean Europe: An ecological history*. Yale University Press. New Haven, Conn.
- JUSTUS, J. & SARKAR, S. 2002. The principle of complementarity in the design of reserve networks to conserve biodiversity: a preliminary history. *Journal of Bioscience*, 27: 421-435.
- KIESTER, A. R.; SCOTT, M. J.; CSUTI, B.; NOSS, R. F.; BUTTERFIELD, B.; SAHR, K. & WHITE, D. 1996. Conservation prioritization using GAP data. *Conservation Biology*, 10: 1332-1342.
- MALLARACH, J. M. 1999. *Criteris i mètodes d'avaluació del patrimoni natural*. Quaderns de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. Barcelona.
- MARTÍ, R. & MORAL, J. C. DEL (ed.) 2003. *Atlas de las aves reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife). Madrid.
- MARULL, J. 2003. La vulnerabilidad del territorio en la región metropolitana de Barcelona. Parámetros e instrumentos de análisis. In: FOLCH, R. (ed.). *El territorio como sistema. Conceptos y herramientas de ordenación*. CUIIMP. Diputació de Barcelona. Barcelona: 141-158.
- MARULL, J. 2005. Metodologies paramètriques para la evaluació ambiental estratègica. *Ecosistemas*, 2005/1. Versió digital.
- MARULL, J. & FOLCH, R. 2004. Índex ecològic per a la gestió territorial. In: *Perspectives territorials*. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. En premsa.
- MARULL, J. & MALLARACH, J. M. 2002. La conectividad ecológica en el Área Metropolitana de Barcelona. *Ecosistemas*, 2002/2. Versió digital.
- MARULL, J. & MALLARACH, J. M. 2004. A new GIS methodology for assessing and predicting landscape and ecological connectivity: Applications to the Metropolitan Area of Barcelona (Catalonia, Spain). *Landscape and Urban Planning*. En premsa.
- MÚGICA, M. 1994. *Modelos de demanda paisajística y uso recreativo de los espacios naturales*. Departamento Interuniversitario de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid. Tesi doctoral inèdita.
- MÚGICA, M. & LUCIO, J. V. DE 1996. The role of on-site experience on landscape preferences: a case study at Doñana National Park. Spain. *Journal of Environmental Management*, 47: 229-239.
- PALOMO, J. L. & GISBERT, J. (ed.) 2002. *Atlas de los mamíferos terrestres de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. SECEM. SECEMU. Madrid.
- PLA, E. 2002. *Modelització de la dinàmica de combustible en ecosistemes arbustius mediterranis*. Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia. Tesi doctoral inèdita.
- PLEGUEZUELOS, J. M.; MÁRQUEZ, R. & LIZANA, M. (ed.) 2002. *Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza; Asociación Herpetológica Española. Madrid.
- PONS, X. 1996. Els sistemes d'informació geogràfica: la nova carta. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 64: 37-52.
- PONS, X. 2002. *MiraMon. Sistema d'informació geogràfica i software de teledetecció*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Bellaterra.
- RATCLIFFE, D. A. 1971. Criteria for the selection of nature reserves. *Advances of Science*, 27: 294-296.
- SAEZ, L.; ROSSELLÓ, J. A. & VIGO, J. 1998. Catàleg d'espècies rares, endèmiques o amenaçades de Catalunya. I. Tàxons endèmics. *Acta Botanica Barcinonensia*, 45 (Homenatge a Oriol de Bolòs): 309-321.

- SÁEZ, L. & SORIANO, I. 2000. Catàleg de plantes vasculars endèmiques, rares o amenaçades de Catalunya. II. Tàxons no endèmics en situació de risc. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 68: 35-50.
- STOMS, D; MCDONALD, J. M. & DAVIS, F. W. 2002. Fuzzy assessment of land suitability for scientific research reserves. *Environmental Management*, 29: 545-558.
- TRAGSA 2003. *La ingeniería en los procesos de desertificación*. Mundi Prensa. Madrid: 364-367.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. U. S. Department of Agriculture. Washington. *USDA Agriculture Handbook*; 537.