

Aportacions de l'índex de connectivitat ecològica a la planificació territorial i a l'avaluació ambiental estratègica, en el context de les recerques i les polítiques de connectivitat ecològica a Catalunya

Josep M. Mallarach

Consultor ambiental
Apartat de correus 148 17800 Olot, Girona
jm@natura.ictnet.es

Joan Marull

Barcelona Regional
Edifici Z, carrer 60, 25-27, Zona Franca, 08040 Barcelona
jmarull@bcnregional.com

Joan Pino

Universitat Autònoma de Barcelona. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)
08193 Bellaterra
joan.pino@uab.cat

Data de recepció: juny del 2007
Data d'acceptació definitiva: juny del 2007

Resum

En el present article, s'hi descriu l'índex de connectivitat ecològica (ICE), una metodologia paramètrica per analitzar i avaluar la connectivitat dels ecosistemes terrestres, dins d'una sinopsi del desenvolupament dels estudis i les polítiques de connectivitat ecològica a Catalunya. L'ICE ha estat desenvolupat pels autors en tres versions successives al llarg dels darrers sis anys. Se n'hi exposa la motivació, les potencialitats, les aplicacions actuals i les previsible, especialment quant a la planificació territorial i l'avaluació ambiental estratègica, i se n'hi examinen les potencialitats en el marc de les possibilitats que han obert les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya de 2006.

Paraules clau: connectivitat ecològica, índex de connectivitat ecològica, ordenació territorial i avaluació estratègica.

Resumen. *Aportaciones del índice de conectividad ecológica a la planificación territorial y a la evaluación ambiental estratégica, en el contexto de los estudios y las políticas de conectividad ecológica en Cataluña*

En el presente artículo, se describe el índice de conectividad ecológica (ICE), una metodología paramétrica para analizar la conectividad ecológica de los ecosistemas terrestres, en el contexto de una síntesis del desarrollo de los estudios y las políticas de conectividad ecológica en Cataluña, una comunidad autónoma española con plenas competencias en los ámbitos de la ordenación territorial, evaluación estratégica y conservación de la naturaleza. El ICE ha sido desarrollado por los autores, con tres versiones sucesivas, a lo largo de los últimos seis años. De él se exponen su razón de ser, sus potencialidades, así como sus aplicaciones actuales y previsible, especial-

mente en cuanto a la planificación territorial y la evaluación ambiental estratégica, en el marco de las posibilidades que abren las directrices de conectividad ecológica de Cataluña de 2006.

Palabras clave: conectividad ecológica, índice de conectividad ecológica, ordenación territorial, evaluación estratégica.

Resumé. *Apports de l'index de connectivité écologique à la planification territoriale et l'évaluation environnementale stratégique, dans le contexte des études et les politiques de connectivité écologique en Catalogne*

On décrit l'index de connectivité écologique (ICE), une méthodologie paramétrique pour analyser et évaluer la connectivité des écosystèmes terrestres, dans de contexte du développement des études et des politiques de connectivité écologique de la Catalogne espagnole, une communauté autonome qu'a pleines responsabilités dans le domaine de l'aménagement du territoire, l'évaluation environnementale et la conservation de la nature. L'ICE a été développé par les auteurs en trois versions consécutives pendant les six dernières années. On n'explique la motivation, les potentialités, leurs applications actuels i prévisibles, spécialement en ce qui concerne l'aménagement du territoire et l'évaluation environnementale stratégique. Finalement, on montre les potentialités que l'ICE offre de dans le cadre des possibilités que viennent d'ouvrir les Directrices pour la connectivité écologique de la Catalogne de 2006.

Mots clé: connectivité écologique, index de connectivité écologique, aménagement du territoire, évaluation stratégique.

Summary. *Contributions of the Index of Ecological Connectivity to the territorial planning and the strategic environmental evaluation, in the context of the research and the policies ecological connectivity in Catalonia*

This paper presents in short the index of ecological connectivity (IEC), a parametric methodology to analyze and evaluate the ecological connectivity of terrestrial ecosystems. This is done in the context of the development of researches and policies of ecological connectivity in Catalonia, a Spanish Autonomy with full powers in land planning, environmental evaluation and nature conservation. The IEC has been developed by the authors in three consecutive versions during the last six years. The discussion includes the motivation of the IEC, its potentialities, and its present and foreseeable applications, mainly in land planning and strategic environmental assessment. Finally there is a discussion about the potential uses of the IEC in the frame of the directives for ecological connectivity of Catalonia of 2006.

Key words: ecological connectivity, index of ecological connectivity, land planning.

Sumari

Objecte	Aplicacions de l'ICE
Antecedents i context a Catalunya	Les possibilitats que obren les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya
Desenvolupament de les polítiques de connectivitat ecològica a Catalunya	Conclusions
L'índex de connectivitat ecològica	Referències bibliogràfiques

Objecte

Aquest article té tres propòsits fonamentals: en primer lloc, realitzar una descripció sumària de l'ICE, una metodologia paramètrica amb aplicació cartogràfica dissenyada per a la planificació territorial i l'avaluació ambiental estratègica; en segon lloc, emmarcar l'ICE en el procés de desenvolupament d'estudis, mètodes i polítiques de connectivitat ecològica que ha viscut Catalunya durant la darrera dècada, destacant-ne les aportacions principals que hi fa, i, en tercer lloc, assenyalar les possibilitats que l'ICE ofereix en el nou marc definit per les bases per a les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya de 2006.

Antecedents i context a Catalunya

Catalunya és una de les regions d'Europa on s'han desenvolupat més els estudis de connectivitat ecològica al llarg dels dos darrers decennis. Els primers treballs, a començament de la dècada de 1990, varen ser anàlisis de connectivitat biològica entre espais naturals protegits concrets (Estarellas, 1993) o de tot el sistema d'espais naturals protegits pel PEIN (Generalitat de Catalunya, 1999a), que varen anar seguits de propostes de directrius (Generalitat de Catalunya, 1999b). Més tard, es varen analitzar experiències de diversos països capdavanters en la matèria, començant pels EUA, a l'escala federal, estatal, bio-regional i local, valorant-ne l'aplicabilitat a la realitat catalana (Mallarach, 1993, 1994). Des d'aleshores, s'han realitzat més d'un centenar d'estudis propositoris sobre connectivitat ecològica en àmbits molt diversos: des del local o comarcal, fins al regional o internacional, els quals cal valorar-los molt positivament, tant per la seva creativitat com per les aportacions metodològiques realitzades, tot i que la majoria han romàs inèdits i no són fàcils de consultar (Associació de Naturalistes de Girona, 1994; Gutiérrez i Seguí, 1997; Pino i Rodà, 2000; Mayor i Belmonte, 2000; Pino i Rodà, 2001; etc.). I també s'han dut a terme recerques multidisciplinàries sobre temes diversos que estan relacionats, per exemple: l'ús dels corredors biològics per part de vertebrats (Brotons i Rosell, 2001); la riquesa d'espècies d'ocells en paisatges en mosaic (Pino i altres, 2004), o bé els efectes de la fragmentació d'hàbitats en diversos grups d'organismes, principalment plantes vasculars, formigues i ocells (Rodà i altres, 2006). Recentment, des d'una concepció sistèmica del territori, s'han desenvolupat diverses mètriques per analitzar la coherència estructural i funcional del paisatge, que, cada cop més, es perfila com una bona interpretació de l'anomenada *eficiència territorial* (Marull i altres, 2005b), principalment quan es relaciona amb els balanços energètics del metabolisme social.

Avui dia, la connectivitat ecològica és un aspecte que no sols apareix en els discursos polítics i socials, sinó que també es tracta de forma habitual en els estudis previs dels nous planejaments urbanístics, plans sectorials i projectes de grans infraestructures i en la majoria de les avaluacions ambientals amb incidència territorial (vegeu, per exemple: Barcelona Regional, 2002, 2005). En aquest conjunt d'estudis i propostes, hi han participat prop d'un centenar

d'investigadors, cinc universitats, quatre centres de recerca i una vintena d'ONG, pel cap baix (Mallarach, 2007).

Altrament, s'han realitzat a Catalunya diverses jornades i tallers tècnics on la connectivitat ecològica s'ha debatut de manera més global, en el marc de les polítiques sectorials i el planejament, entre els quals destaca el taller d'experts en connectivitat ecològica, realitzat a Olot el desembre de 2003, pel fet que, a més d'analitzar-hi les millors experiències fins aleshores, es varen extreure conclusions tècniques i polítiques i es varen publicar i difondre a través del Centre d'Iniciatives Locals per al Medi Ambient (Mallarach (coord.), 2004). A més, són diversos els experts catalans que participen en projectes europeus i internacionals que fan aportacions significatives en l'àmbit de la connectivitat ecològica, especialment en dos camps: els impactes de la fragmentació causada per les infraestructures de transport i les mesures correctores o compensatòries: Rosell i Velasco (1999), Rosell i altres (2003), i la connectivitat a escala bioregional internacional, amb la iniciativa del gran corredor muntanyenc del Cantàbric-Pirineus-Massís Central Francès-Alps Occidentals, promoguda per la Fundació Territori i Paisatge, amb suport del Consell d'Europa, UICN, Europarc i Eurosite (Fundació Territori i Paisatge, 2006; Mallarach i altres, 2007).

L'ordenació territorial dels espais oberts a Catalunya ha passat per tres etapes principals, en les quals s'ha anat considerant successivament el paper dels diversos elements del paisatge. La primera, a les darreries de la dècada de 1980, va ser la identificació d'un sistema d'espais naturals aïllats (PEIN), definit segons criteris ecològics que en justificaven la necessitat per salvaguardar determinades comunitats, espècies o geòtops. Aquesta primera s'ha completat, recentment, amb la incorporació dels espais de la xarxa Natura 2000. En una segona fase, que va començar a inicis dels anys noranta, i en la qual encara ens trobem, es va plantejar que calia realitzar una interconnexió entre els ecosistemes per tal de garantir la pervivència del patrimoni natural en un medi cada cop més artificialitzat, i això va conduir a considerar elements connectors en una xarxa d'espais protegits, a diverses escales. L'etapa següent parteix de la pregunta: «N'hi ha prou amb aquests elements per assegurar el manteniment del funcionament ecològic del territori, del qual depenen bona part de les activitats que hi duem a terme?». És evident que cal considerar el paper d'un tercer element, cada cop més dominant en el paisatge: la matriu territorial més o menys artificialitzada on es concentra l'activitat humana (Pino i Rodà, 1999). Considerar aquest element en el funcionament ecològic global del territori, juntament amb la xarxa d'espais protegits, és un pas del tot necessari (Pino i altres, 2007). Es tracta també d'un repte important, ja que implica la incorporació de criteris de funcionalitat ecològica en les diverses polítiques sectorials que hi incideixen, tal com plantegen les Bases per a les Directrius de Connectivitat Ecològica de Catalunya (2006). Aquesta darrera línia s'emmarca dins d'una altra aproximació, que s'ha anat obrint pas durant els set darrers anys, que aposta per un model sistèmic del territori (Folch (ed.), 2003) i proposa, en conseqüència, nous criteris i eines amb els quals es pot abordar un planejament territorial més sostenible (Marull i altres, 2006).

Per raons polítiques i conjunturals, la incorporació a la normativa i al planejament de Catalunya de les aportacions de criteris i propostes relacionades amb la permeabilitat o la connectivitat ecològica ha estat molt desigual en els darrers deu anys. S'han fet passes més o menys decidides, i més o menys coherents, per aplicar les propostes en tots els sectors, i a totes les escales, des del planejament territorial o urbanístic fins a la política d'aigües o l'agrària, o els plans i projectes d'infraestructures viàries o ferroviàries. L'apartat següent en resumeix les fites principals.

Desenvolupament de les polítiques de connectivitat ecològica a Catalunya

Segurament, la millor mostra de la rellevància política que la connectivitat ecològica ha assolit en l'agenda de Catalunya la dona el fet que l'Estatut d'Autonomia de Catalunya de 2006 atribuís a la Generalitat competències exclusives en l'establiment i la regulació de les figures de corredors biològics.

Entre els instruments vigents o en curs, escau diferenciar-ne aquells que tenen àmbit català dels que tenen un àmbit inferior, sia regional, comarcal o local. Escau recordar que la Comunitat Autònoma de Catalunya està dividida en 7 regions, 41 comarques i més de 1.000 municipis (IDESCAT, 2007). Tot seguit, s'indiquen alguns dels més rellevants en cadascun d'aquests àmbits i se n'exposen alguns dels trets més significatius.

a) Àmbit català

Els tres instruments més significatius a aquesta escala són, per ordre cronològic d'aprovació, el Pla d'Espais d'Interès Natural de 1992; el Pla General Territorial de Catalunya de 1995, i les bases per a les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya de 2006.

El Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN), l'instrument que configura el sistema d'espais naturals protegits de Catalunya, assenjala la importància de la connectivitat ecològica entre els espais naturals protegits i remarca que «Cal una planificació i una gestió integrades del territori global en què es troben immerses, cercant la connectivitat biològica i, fins i tot, la continuïtat física, de manera que el sistema esdevingui una autèntica xarxa». Això no obstant, el PEIN configura, de fet, el disseny del sistema d'espais naturals protegits sobre la base d'unitats separades que formen una estructura territorial discontinua, de manera que el terme «xarxa d'espais naturals», que usa reiteradament, l'aplica en el sentit jurídic, i no pas en el sentit ecològic, tal com fa l'Estratègia Pan-europea per a la Conservació de la Diversitat Ecològica i Paisatgística de 1995.

El Pla General Territorial de Catalunya (PTGC) constitueix el document de planificació de màxim rang en l'ordenació del territori al Principat i té un abast de trenta anys. El PTGC considera tres raons diferents de protecció del medi físic i natural: els valors intrínsecs, els valors funcionals (dins de la qual en distingeix una de productiva i l'altra de relacionada amb la seva capacitat equilibradora) i la legislació sectorial vigent. Aquest pla estableix que són objec-

te de protecció, pels seus valors intrínsecs, entre altres: els espais «de lligam» entre els espais del PEIN. Aquests darrers són definits així: «els espais de lligam o relació entre els espais del PEIN són aquells espais de connexió que els estructuraven en una xarxa contínua i els incorporen en un sistema territorial més ampli». D'altra banda, el PTGC indica que són objecte de protecció en funció del seu valor agrícola o forestal (que pot ser bàsic o complementari): els sòls d'interès agrícola especial i els sòls d'interès forestal especial. Igualment, considera que són objecte de protecció en funció de la seva capacitat equilibradora, entre altres, els elements morfològics identificatius del territori. Finalment, considera que són objecte de protecció, entre altres, els espais definits per legislacions sectorials, els espais de la faixa litoral i els espais de la xarxa hidrogràfica. En aquest darrer cas, especifica que «en els trams no urbans poden actuar com a corredors biològics que lliguin i assegurin la continuïtat de la xarxa dels espais objecte de protecció». En relació amb els plans territorials parcials que el despleguin, el PTGC estableix les directrius que hauran de delimitar els espais naturals objecte de protecció i que hauran de buscar la continuïtat física dels espais objecte de protecció resultants, per tal de conformar un sistema integrat i continu d'espais naturals i seminaturals. I especifica que s'haurà d'assegurar «la continuïtat de la taca de sòl no urbanitzable per tot el territori». Un criteri que recullen els instruments que es descriuen més endavant.

Escau destacar també la seva incorporació en algunes normes tan estratègiques com el Reglament de la Llei d'urbanisme de Catalunya, aprovat l'any 2006, on adopta l'expressió de «connectivitat territorial» (*Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, núm. 4682).

En el moment de lliurar aquest article (juny de 2007), el Departament de Medi Ambient i Habitatge ha començat a definir el plantejament del futur Pla Territorial Sectorial de Connectivitat Ecològica, el primer d'aquest rang a l'Estat espanyol, que s'haurà d'articular amb el planejament territorial i altres plans sectorials existents o en curs d'elaboració.

Per completar aquest breu repàs, cal esmentar, encara, la publicació de diverses guies o manuals molt pràctics, entre els quals destaquen el *Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna* (Rosell i Velasco, 1999), *Com funcionen les vies verdes?* (Labaree, 2000) i *Criteris de connectivitat ecològica dels cursos fluvials* (Agència Catalana de l'Aigua, 2007).

b) Àmbit regional

Malgrat el precedent del pla territorial parcial de les Terres de l'Ebre, el primer pla territorial parcial que ha incorporat de manera plena els principis de la connectivitat ecològica en les seves propostes, delimitacions i normatives ha estat el de l'Alt Pirineu i Aran (DPTOP, 2006). Es tracta del primer pla territorial de la nova generació, elaborat en paral·lel amb la seva avaluació ambiental, en un procés participatiu de considerable entitat, tant dins de la pròpia Administració catalana, en diferents escales, com en la societat civil. L'anàlisi dels

espais lliures, que metodològicament constitueix el fonament del pla, incorpora la figura específica de connector ecològic, per relligar el sistema d'espais naturals d'importància internacional, nacional o regional, i el seu disseny aconseguix establir una xarxa ecològica funcional interconnectada d'espais lliures que equival al 70% de la superfície de la regió pirinenca. La majoria dels estudis de base d'aquests espais lliures han estat realitzats seguint la mateixa metodologia (La Vola Serveis Ambientals, 2002-2006). Els altres sis plans territorials parcials que estan en curs d'elaboració, algun de quasi acabat al moment d'acabar aquest article, segueixen el mateix model. Escau destacar-ne, per la seva diversitat i qualitat, els treballs de base que s'han realitzat des de diverses instàncies per estudiar la connectivitat ecològica de l'àrea metropolitana de Barcelona, els més destacats dels quals són examinats a Mallarach i Marull (2006) per comparar i valorar la congruència dels resultats obtinguts amb els que facilita l'ICE.

c) Àmbit comarcal i supramunicipal

En la darrera legislatura, la Diputació de Girona ha promogut la incorporació de criteris de connectivitat ecològica en els plans especials de regulació del sòl no urbanitzable vinculats als processos d'agenda 21 locals, els quals es promou que siguin d'àmbit supramunicipal, tant en àrees funcionals, com en àmbits comarcals. Un dels exemples més interessants és el Pla de Connectivitat Ecològica del Gironès, promogut pel Consell Comarcal d'aquesta comarca, amb el suport de la Diputació de Girona, perquè analitza l'estat actual, l'escenari tendencial i els seus impactes a la connectivitat, i proposa mesures en conseqüència (Deplan, 2006).

És en el context que s'ha descrit fins ara de forma sinòptica i per donar resposta a les necessitats que han sorgit, on va néixer i s'ha desenvolupat l'índex de connectivitat ecològica que s'exposa tot seguit.

L'Índex de connectivitat ecològica

El territori és un sistema que pot ser descrit com una xarxa d'elements o nodes que interactuen entre ells mitjançant diverses connexions. L'estructura espacial del paisatge i les propietats dels elements que el configuren es relacionen, per tant, amb els processos ecològics. L'ecologia del paisatge ha trobat dificultats per identificar relacions matemàtiques inequívokes entre patrons espacials i atributs funcionals. En aquest marc conceptual, es proposa l'índex de connectivitat ecològica (ICE).

L'ICE ha estat desenvolupat des de Barcelona Regional, agència pública de desenvolupament urbanístic i d'infraestructures, i es basa en un model computacional de distància de costos de desplaçament, que considera diferents classes d'àrees ecològiques funcionals per connectar i una superfície d'impedància que incorpora una matriu d'afinitat de les cobertes del sòl i l'efecte de les barreres antropogèniques. Pensat per ser aplicat a escala de planejament ter-

ritorial, el seu desenvolupament és el resultat d'un complex procés basat en sistemes d'informació geogràfica (ArcGIS), i pren forma d'imatge tramada (píxel = 100 m²) o de capa vectorial (1:50.000), segons quins siguin els objectius de les anàlisis.

La diagnosi de la connectivitat ecològica comença per la identificació d'unes àrees ecològiques funcionals —assimilables a nodes—, fonamentals per fer córrer un model computacional que calcula la connectància entre els nodes a partir de la distància entre aquests, ponderada mitjançant una superfície d'impedàncies que, al seu torn, es calcula a partir d'una matriu d'afinitats entre les cobertes del sòl i una altra matriu relativa als efectes de les barreres antropogèniques sobre l'espai circumdant. Finalment, els resultats del model es discretitzen mitjançant un algoritme que incorpora el criteri expert al sistema. Hi ha dues variants principals de l'ICE, anomenades, respectivament, *ICE relatiu* i *ICE absolut*, que s'utilitzen per a aplicacions diferents: dins d'un mateix escenari, en el primer cas, o per comparar escenaris diferents, en el segon.

La metodologia de la darrera versió d'aquest índex (ICE-III) ha estat explicada en detall a Marull i altres (2007) i presenta quatre millores significatives respecte a les dues versions precedents (Marull i Mallarach, 2002, i Marull i Mallarach, 2004):

- a) S'ha aplicat per primera vegada a tot el territori de Catalunya, incorporant-hi les diferents regions biogeogràfiques, a escala del planejament territorial.
- b) S'ha basat en la cartografia d'hàbitats de Catalunya (Carreras i Diego, 2006) que defineix 292 categories d'hàbitats delimitats a escala 1:50.000.
- c) Ha millorat substancialment la determinació d'àrees ecològiques funcionals mitjançant el mètode ISODATA de reconeixement de patrons, que permet delimitar unitats texturals assimilables a paisatges (Pino i Rodà, 2005), utilitzant com a variables de classificació les distàncies de cada punt de la matriu territorial a les diverses cobertes del sòl considerades.
- d) S'han examinat amb rigor estadístic les correlacions entre els resultats del model i les millors bases de dades de camp sobre biodiversitat disponibles per al conjunt de Catalunya, i els resultats han estat clarament positius (Marull i altres, 2007b).

Aplicacions de l'ICE

L'ICE és un model dinàmic, que s'adapta a l'escenari territorial on s'aplica, de manera que permet calcular-lo per a diferents alternatives d'un pla territorial o d'un pla d'infraestructures viàries, posem per cas. L'ICE dona lloc a uns càlculs numèrics que es poden representar per mitjà de mapes i de gràfiques, de lectura molt intuïtiva. A la vista dels resultats assolits en cada alternativa, es poden prendre decisions o bé proposar mesures correctores o compensatòries i fer córrer de nou el model per valorar-ne l'impacte, positiu o negatiu, segons els casos. Per tant, no sols permet comparar alternatives, sinó també modifi-

car-les, cosa que pot ocórrer durant la tramitació o el procés participatiu i tornar-les a comparar amb agilitat.

A banda de diversos estudis i d'exercicis més o menys teòrics, com ara els de validació i fiabilitat comparant-ne els resultats amb els d'altres metodologies d'anàlisi de la connectivitat ecològica, descrits a Mallarach i Marull (2006a), l'ICE ha estat objecte d'aplicacions en diversos projectes i treballs desenvolupats, principalment, des de Barcelona Regional. Escau destacar-ne, a tall d'exemple:

- A l'àmbit regional, s'ha elaborat l'estudi *Aproximació paramètrica al mosaic territorial de la regió metropolitana de Barcelona. Aplicació en el planejament territorial i l'avaluació ambiental estratègica* (Barcelona Regional i CREA, 2006), per a la Comissió d'Ordenació Territorial Metropolitana i la Ponència Tècnica del Pla Territorial Metropolità.
- A l'àmbit comarcal, s'ha participat en diferents treballs, com ara *Vallès Oriental: una mirada de prop. Diagnosi estratègica d'un territori divers* (Barcelona Regional, 2006) o *Proposta de traçat de la línia d'Alta Velocitat al Vallès Oriental* (Barcelona Regional, 2002), tots dos promoguts pel Consell Comarcal del Vallès Oriental. Fora de l'àrea metropolitana de Barcelona, cal destacar l'elaboració del *Pla de connectivitat ecològica de la comarca del Gironès*, promogut pel Consell Comarcal homònim, en el marc de l'agenda 21 comarcal (Deplan, 2006).
- A l'àmbit local, també s'hi han desenvolupat diversos estudis, com ara les *Propostes per a garantir la connectivitat ecològica en l'àmbit de Montcada i Reixac* (Barcelona Regional, 2005) elaborat per a l'Ajuntament de Montcada i Reixach. Arribats en aquest punt, cal advertir que, a escales de detall, com ara la planificació urbanística municipal, el mètode proposat és complementari, no pas exclouent, respecte a uns altres mètodes, com ara els que modelitzen els desplaçaments d'espècies clau, a partir de dades de dinàmica ecològica local i de permeabilitat de les barreres, recolzades amb treball sobre el terreny.

D'altra banda, l'ICE ha estat objecte de dues aplicacions al País Basc, l'una en tot el territori històric d'Àlaba, com a base d'una estratègia multisectorial de connectivitat ecològica (Mallarach i altres, 2006) per a la Diputació Foral d'Àlaba i l'altra en el municipi de la seva capital, per avaluar l'impacte del planejament urbanístic i proposar alternatives en relació amb la connexió ecològica entre les muntanyes de Vitòria i l'anella verda de Vitòria-Gasteiz (Mallarach i altres, 2005), per al Centre d'Estudis Ambientals de Vitòria-Gasteiz.

Darrerament, s'ha començat a aplicar fora de l'Estat espanyol, per exemple al comtat de Saint John, a l'estat de Florida (EUA), on s'ha dut a terme una anàlisi comparativa de la connectivitat paisatgística dels anys 1973, 1990 i 2000 (Dazzini, 2007).

Les possibilitats que obren les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya

El 15 d'octubre de 2006, el Departament de Medi Ambient i Habitatge va aprovar les Bases per a les Directrius de Connectivitat Ecològica de Catalunya, que situen el Principat en una posició capdavantera a l'Estat espanyol en aquesta matèria, en incorporar la dimensió funcional de la conservació en tots els àmbits i a totes les escales on pot ser rellevant. Aquestes directrius, que desitgem que siguin assumides aviat per tot el Govern, són, doncs, multisectorials i abasten els camps següents: planejament territorial, espais naturals protegits, espècies amenaçades i protegides, xarxa viària i altres infraestructures lineals, espais fluvials, agricultura, urbanisme, ús dels recursos biològics, avaluació ambiental i, finalment, un capítol dedicat a recerca, informació i participació. I van seguides de quatre annexos. De tots, el segon conté la relació dels nous instruments que les directrius proposen desenvolupar, mentre que el tercer conté les normes i els plans que les directrius proposen completar, i s'hi presenten de manera resumida algunes de les implicacions normatives i sobre el planejament d'aquestes directrius.

Tot seguit, s'exposen les relacions de l'ICE amb les directrius esmentades, per tal de posar de manifest les possibilitats que aquest mètode ofereix respecte als nous instruments que les directrius preveuen desenvolupar, i dels instruments ja existents pels quals caldria garantir la incorporació del concepte de connectivitat ecològica.

- Pla territorial sectorial de connectivitat ecològica de Catalunya.
- Plans de recuperació o de conservació de les espècies catalogades.
- Actuacions per a la recuperació de la funció connectiva en trams fluvials especialment importants des del punt de vista de la connectivitat ecològica en el programa de mesures del Pla de gestió de la demarcació hidrogràfica de les conques internes de Catalunya: programa de restauració i de recuperació de marges i riberes dels punts crítics en trams naturals o seminaturals; programa de permeabilització d'infraestructures de protecció hidràulica en punts crítics situats en entorns altament modificats.
- Pla per a l'ordenació i la recuperació de la xarxa de vies pecuàries de Catalunya.
- Revisió del Pla territorial parcial de les Terres de l'Ebre.
- Nou Pla d'infraestructures de transport de Catalunya 2006-2026.
- Nou Programa de desenvolupament rural 2007-2013.
- Revisió del Pla de recerca i innovació de Catalunya 2005-2008.

En tots aquests plans o programes, la darrera versió de l'ICE pot esdevenir un element auxiliar molt significatiu, al costat d'altres eines o elements que seran variables segons els casos, tant en la fase de formulació com, molt especialment, en l'avaluació ambiental que s'hauria de desenvolupar de forma paral·lela.

Conclusions

Catalunya és un dels països europeus que ha generat més desenvolupaments metodològics i més estudis en relació amb la connectivitat ecològica, especialment en els aspectes de diagnòstics i propositius durant el darrer decenni. La incorporació d'aquest contingent d'estudis en plans, programes, projectes, normes, etc. ha donat alguns resultats valuosos i interessants, però desiguals, en el planejament i la normativa, tant territorial com sectorial, atesa, sobretot, la manca d'un marc regulador que els donés coherència i prou coordinació administrativa en moltes d'aquestes iniciatives. Durant els tres darrers anys, s'ha produït una inflexió molt positiva en la planificació territorial, a escala regional, que ha començat a incorporar de forma sistemàtica les consideracions de connectivitat ecològica. Alhora, s'han desenvolupat experiències rigoroses a escales comarcals o supramunicipals, tant en àrees urbanes funcionals o en entorns d'espais naturals protegits, com també a escala municipal.

Les limitacions principals que han tingut les metodologies desenvolupades fins ara a Catalunya en relació amb la connectivitat ecològica són: no oferir una valoració de la permeabilitat territorial «en continu» (és a dir, per al conjunt del territori tractat de forma sistèmica i homogènia), no permetre estimar els efectes de diferents escenaris ni tenir en compte els impactes acumulatius i, en conseqüència, resultar poc útils per a l'avaluació ambiental estratègica i per ser emprats en processos participatius.

L'ecologia del paisatge ha posat en evidència la necessitat que, en l'ordenació territorial, no sols es tinguin en compte les dimensions dels espais oberts, sinó també la seva distribució i la seva relació, de manera que es puguin mantenir els processos essencials dels ecosistemes i garantir els fluxos i els balanços inherents al seu metabolisme. Aquesta visió funcional s'ha d'aplicar a escales espacials i temporals rellevants, en funció de les dinàmiques dels paisatges, ja siguin induïdes per processos d'antropització o de naturalització. La connectivitat ecològica és una de les propietats essencials del territori en aquest sentit, que no es pot entendre limitada a uns «corredors» o «xarxes connectives» determinats, sinó que s'ha de considerar un atribut de tota la matriu territorial, amb la qual cosa es considera, de forma sistèmica, la dimensió funcional de tots els paisatges.

La metodologia de l'ICE s'ha desenvolupat, precisament, per donar resposta a aquestes limitacions. Després de sis anys de desenvolupament metodològic i d'aplicacions concretes, en diversos àmbits i escales, ha assolit un grau de maduresa que li dona un bon potencial d'utilització, especialment en la planificació i l'avaluació ambiental estratègiques. En efecte, les seves virtuts principals són:

- Demanar unes bases de dades força limitades, essencialment cartografies digitals de vegetació o hàbitats i de sistemes urbans i d'infraestructures, en tractar la connectivitat ecològica segons l'aproximació sistèmica emprada en ecologia del paisatge.

- Oferir una visió sintètica, fàcilment entenedora, de la connectivitat ecològica com un atribut funcional bàsic de la matriu territorial, mitjançant mapes i gràfics quantitativs, amb escales ordinals (Marull i Mallarach, 2002).
- Permetre generar mapes i càlculs de connectivitat ecològica per a diferents escenaris potencials, ja sigui per al conjunt del territori o per a determinades àrees funcionals, que permeten avaluar els impactes que comporten les diverses alternatives, i els que es derivarien de les mesures correctores, compensatòries, etc. També avaluar-ne els efectes derivats de l'impacte acumulat de diversos projectes, cosa que el converteixen en un instrument d'utilitat inestimable per a l'avaluació ambiental estratègica (Mallarach i Marull, 2006a).
- Permetre realitzar anàlisis de més entitat en combinar-lo amb unes altres metodologies paramètriques com les de l'anomenat *metabolisme social*, o la bateria d'índexs de vulnerabilitat territorial i de valor del patrimoni natural desenvolupada pels autors a escala de Catalunya (Marull i altres, 2004; Marull i altres, 2005a; Marull i altres, 2005b).
- Facilitar, pels motius anteriors, els procediments participatius, sigui entre els planificadors o polítics, sigui amb sectors socials més amplis, que s'impliquin en el procés de presa de decisió (Mallarach i Marull, 2006b).

Les seves limitacions principals són:

- Com a restricció de partida, el mètode només considera la connectivitat ecològica dels ecosistemes terrestres. En conseqüència, la connectivitat dels ecosistemes fluvials i dels ecosistemes marins no queda recollida en el model. Tots dos aspectes requereixen, per tant, aproximacions metodològiques diferenciades.
- Una altra limitació significativa pot derivar-se de la fiabilitat de les bases cartogràfiques i alfanumèriques que utilitza, sigui derivada de la pròpia metodologia, sigui del temps transcorregut des que es varen elaborar. En àrees molt dinàmiques, al cap de pocs anys poden quedar obsoletes.
- El fet de donar valors agregats —per tota la matriu territorial o per diferents classes funcionals— pot estar més o menys correlacionat amb els requeriments de mobilitat de certes espècies sensibles (com ara poblacions escasses d'espècies en risc o amenaçades d'extinció), per a les quals són indispensables uns altres mètodes basats en treball de camp i dades empíriques. Tanmateix, això que és una limitació per una estratègia de conservació centrada en espècies determinades (*fine-filter approaches*), esdevé virtut davant d'aproximacions més holístiques (*coarse-filter*) que permeten resoldre, si més no en part, l'anomenada *paradoxa del gestor* (Schwartz, 1999).

Per acabar, cal destacar que, després de dues dècades d'esforços dels sectors públics, els centres de recerca i la societat civil —que sovint ha estat capda-

vantera—, Catalunya es troba actualment en un moment cabdal pel que fa a la integració en el planejament territorial dels principis de l'ecologia en la dimensió funcional dels sistemes naturals del territori. Per primera vegada, es disposa dels instruments normatius i tècnics que permeten garantir una incorporació efectiva de la connectivitat ecològica —com a atribut funcional del paisatge— mitjançant uns plantejaments multiescalars i multisectorials que permetin establir una coherència que en pocs altres llocs s'ha assolit. Entre els nous instruments d'ordenació del territori on l'ICE pot fer aportacions significatives, en destaquen el Pla territorial sectorial de connectivitat ecològica, els plans territorials parcials en curs, els plans territorials sectorials d'infraestructures de transports i els plans directors urbanístics.

Referències bibliogràfiques

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2007). *Criteris de connectivitat ecològica dels cursos fluvials*. <<http://mediambient.gencat.net/aca/cal/planificacio/inici.jsp>>.
- ASSOCIACIÓ DE NATURALISTES DE GIRONA (1994). *Estudis de la connectivitat entre els espais del PEIN i les serralades litoral i prelitoral. Sector del llinard de Maçanet i conca de la riera de Santa Coloma*. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. Informe inèdit.
- BARCELONA REGIONAL (2002). *Proposta de traçat de la línia d'alta velocitat al Vallès Oriental (Montmeló-Montornès-Vilanova-La Roca)*. Consell Comarcal del Vallès Oriental. Informe inèdit.
- (2005). *Propostes per garantir la connectivitat ecològica a l'àmbit de Montcada i Reixac*. Ajuntament de Montcada i Reixac. Informe inèdit.
- (2006). *Vallès Oriental: una mirada de prop. Diagnosi estratègica d'un territori divers*. Consell Comarcal del Vallès. Informe inèdit.
- BARCELONA REGIONAL I CENTRE DE RECERCA I APLICACIONS FORESTALS (2006). *Aproximació paramètrica al mosaic territorial de la regió metropolitana de Barcelona. Aplicació en el planejament territorial i l'avaluació ambiental estratègica*. Estudi per a la Comissió d'Ordenació Territorial Metropolitana i la Ponència Tècnica del Pla Territorial Metropolità. Informe inèdit.
- BROTOS, L.; ROSELL, C. (coord.) (2001). *Identificació de connectors ecològics i anàlisi de la seva funcionalitat per a la dispersió de vertebrats*. Universitat de Barcelona i Fundació Castellet del Foix. Informe inèdit. Centre de Documentació del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa.
- CARRERAS, J.; DIEGO, F. (2006) (coords.). *Cartografia dels hàbitats a Catalunya (1:50.000)*. A: *Patrimoni natural* [en línia]. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. <http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/cartografia/fitxes/habitats.jsp>.
- DAZZINI, M. (2007). *A GIS-based Comparative Assessment of Landscape Connectivity in 1973, 1990, and 2000 in St. Johns County, Florida*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Master of Science in Geography.
- DEPLAN (2006). *Pla de connectivitat ecològica de la comarca del Gironès*. Consell Comarcal del Gironès i Diputació de Girona. Treball inèdit.

- ESTARELLAS, J. (1993). *Primeros resultados del análisis ecológico en el proyecto de corredor biológico del río Fluvià. Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa*. Informe inèdit. Centre de Documentació del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa.
- FOLCH, R. (coord.) (2003). *El territorio como sistema. Conceptos y herramientas de ordenación*. Diputació de Barcelona. Col·lecció Territorio y Gobierno: Visiones.
- FUNDACIÓ TERRITORI I PAISATGE (2006). *International conference. Mountains Corridors in the Pyrenees*. CD. Barcelona: Fundació Territori i Paisatge i IUCN.
- GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT (1999a). *Connectivitat biològica i Pla d'Espais d'Interès Natural de Catalunya. Diagnosi general, Etapa 1*. Redactors: Xavier Mayor i Guillem Terrades. Informe inèdit.
- (1999b). *Validació sobre la metodologia per a l'elaboració de directrius territorials per a la connectivitat biològica i redacció d'unes directrius territorials tipus*. Redactors: Xavier Mayor i Guillem Terrades. Informe inèdit.
- GUTIÉRREZ, C.; SEGUÍ, J. (1997). *Proposta de connectors biològics entre els parcs naturals dels Aiguamolls de l'Empordà i de Cap de Creus. Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà*. Informe inèdit.
- LABAREE, J. M. (2000). *Com funcionen les vies verdes? Un manual d'ecologia del paisatge*. Original anglès traduït i adaptat a Catalunya per Jordi Pietx. Fundació Territori i Paisatge. Caixa Catalunya. 92 p.
- MALLARACH, J. M. (1993). *Estudi de diagnosi i aplicació al Pla d'Espais d'Interès Natural de Catalunya de les experiències sobre corredors biològics als Estats Units d'Amèrica*. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. 183 p. Informe inèdit.
- (1994). «Les xarxes de corredors biològics i ambientals als Estats Units d'Amèrica». *Espais*, núm. 39, p. 37-44. Barcelona: Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- (2007). «Les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya». *Revista de Girona*, núm. 241, p. 63-65.
- MALLARACH, J. M.; COMAS, E.; LÓPEZ, C. (2004). *Análisis y diagnóstico de la conectividad ecológica y paisajística en el sector sur del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz. Estudio de opciones y alternativas para maximizar el beneficio social y ecológico de los enlaces potenciales del Anillo Verde con los Montes de Vitoria*. Centro de Estudios Ambientales. <<http://www.vitoria-gasteiz.org/ceac/siam/estudios.html>>.
- MALLARACH, J. M. (coord.) i altres (2004). *La connectivitat ecològica a Catalunya. Taller d'experts en connectivitat ecològica i paisatgística*. CD-ROM, núm. 1. Girona: Consell d'Iniciatives Locals per al Medi Ambient.
- MALLARACH, J. M. (dir.); COMAS, E.; LÓPEZ, C.; GEODATA (2005). *Estudio de conectividad ecológica del Territorio Histórico de Álava. Propuestas y Estrategia*. Diputación Foral de Álava. Treball inèdit.
- MALLARACH, J. M.; GERMAIN, J. (ed.) (2006). *Bases per a les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya*. Barcelona: Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya, 96 p.
- MALLARACH, J. M.; MARULL, J. (2006a). «La conectividad ecológica en la planificación y la evaluación estratégicas; aplicaciones en el área metropolitana de Barcelona». *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XXXVIII (147), p. 41-60.
- (2006b). «Impact assessment of ecological connectivity at the regional level: recent developments in the Barcelona Metropolitan Area». *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 24, 2, p. 127-137.

- MALLARACH, J. M.; RAFA, M.; SARGATAL, J. (2007). «Cantabrian Mountains -Pyrenees-Massif Central- Western Alps Great Mountain Corridor». A: WORBOYS, G. (ed.). *Mountain Connectivity Conservation Management*. IUCN.
- MARULL, J. (2005). «Metodologies paramètriques para la evaluació ambiental estratègica». *Ecosistemas*, núm. 14 (2). <<http://www.revistaecosistemas.net/>>.
- MARULL, J.; MALLARACH, J. M. (2002). «La conectividad ecológica en el Área Metropolitana de Barcelona». *Ecosistemas*, núm. 11 (2). <<http://www.aect.org/ecosistemas/022/investigacion6.htm>>.
- (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*, núm. 71, p. 243-262.
- MARULL, J.; PINO, J.; CARRERAS, J.; FERRÉ, A.; CORDOBILLA, M. J.; LLINÀS, J.; RODÀ, F.; CARRILLO, E.; NINOT, J. M. (2005a). «Primera proposta d'Índex de Valor del Patrimoni Natural de Catalunya (IVPN), una eina cartogràfica per a l'avaluació ambiental estratègica». *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, núm. 72, p. 115-137.
- MARULL, J.; PINO, J.; TELLO, E.; MALLARACH, J. M. (2005b). «Análisis estructural y funcional de la transformación del paisaje agrario en el Vallès durante los últimos 150 años (1954-2004). Relaciones con el uso sostenible del territorio». *Áreas. Revista de Ciencias Sociales*, núm. 25, p. 105-126.
- MARULL, J.; PINO, J.; MALLARACH, J. M.; CORDOBILLA, J. M. (2006). «A Land Suitability Index for Strategic Environmental Assessment in metropolitan areas». *Landscape and Urban Planning*, núm. 81, p. 200-212.
- MAYOR, X.; BELMONTE, R. (2000). *Anàlisi i determinació a escala de detall de les zones d'interès connector en relació amb el Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa*. Direcció General de Patrimoni Natural i del Medi Físic. Departament de Medi Ambient. Informe inèdit.
- PINO, J.; RODÀ, F. (1999). «L'ecologia del paisatge: un nou marc de treball per a la ciència de la conservació». *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, núm. 67, p. 5-20.
- (2000). *Elements de diagnosi i propostes per a l'Avanç de Pla Especial de la connexió Sant Llorenç del Munt-Montseny*. Àrea d'Espais Naturals. Diputació de Barcelona. Informe inèdit.
- (2001). *Estudi bàsic de la connectivitat entre el Parc Natural de Montserrat i les serres d'Ancosa-Montagut*. Barcelona: Àrea d'Espais Naturals. Diputació de Barcelona. Informe inèdit.
- PINO, J.; COMER, K. C.; RODÀ, F.; GUIRADO, M.; RIBAS, J. (2004). «Riquesa d'espècies i interès per a la conservació dels ocells a l'àrea metropolitana de Barcelona: relacions amb la xarxa actual d'espais protegits». *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, núm. 67, p. 5-20.
- PINO, J.; MARULL, J.; CORDOBILLA, J. M. (2007). «Corridors and matrix: who contributes more to ecological connectivity? A case study in the Barcelona Metropolitan Region (NE of Spain)». *Conservation Biology*. Sotmès.
- RODÀ, F.; GUIRADO, M.; PINO, J.; ESPADALER, X.; BERNAL, V.; RIBAS, J.; BASNOU, C. (2005). *La fragmentació dels boscos de la plana del Vallès*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Fundació Abertis, 373 p.
- ROSELL, C.; VELASCO, J. M. (1999). *Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna*. Barcelona: Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. Col·lecció Documents dels Quaderns de Medi Ambient, núm. 4, 95 p.

- ROSELL, C.; ÁLVAREZ, G.; CAHILL, S.; CAMPENY, R.; RODRÍGUEZ, A.; SEILER, A. (2003). *COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España*. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.
- SCHWARTZ, M. W. (1999). «Choosing the appropriate scale of reserves for conservation». *Annual Review of Ecology and Systematics*, núm. 30, p. 83-108.