

L'objectiu d'aquest capítol¹ és fer una breu reflexió sobre la necessitat de disposar d'indicadors que permetin quantificar el que anomenem eficiència territorial. Entenem per “eficiència territorial” les formes d'aprofitament econòmic de la matriu territorial que aconsegueixen satisfer les necessitats de les persones que hi viuen i mantenir, al mateix temps, l'estat ecològic dels seus paisatges (Marull, Tello, Pino i Mallarach, 2008). Un camí per obtenir aquests indicadors, i posar-los a prova, és mitjançant la reconstrucció històrica dels usos del sòl, aplicant-hi mètriques procedents de l'economia ecològica i de l'ecologia del paisatge, per tal d'assolir un coneixement millor de l'evolució dels paisatges més representatius de Catalunya i alhora identificar les principals forces motrius que els han originat, cosa que, al seu torn, ens ha de proporcionar conceptes i eines útils per a una ordenació més sostenible del territori.

Es parteix, per tant, de la hipòtesi que hi ha una “associació” complexa i canviant entre el metabolisme social i la sostenibilitat territorial. Tanmateix, en processos històrics oberts els nexes causals mai no són fàcils d'establir, ni poden entendre's de manera determinista (Prigogine, 1997). Per això, és possible recuperar l'eficiència territorial en un nou context econòmic i ambiental, justament perquè qualsevol relació causa-efecte entre model socioeconòmic i gestió territorial sempre ha estat més dèbil del que en un principi podria semblar. Els estudis que aquí s'exposen pretenen comprendre millor els nexes entre els balanços energètics i la complexitat territorial, i proposar indicadors per a una ordenació més sostenible del territori, perquè aquests indicadors faciliten la integració transversal entre plans i programes agrícoles, ramaders, forestals, energètics, industrials, urbans i d'infraestructures en el disseny de les polítiques públiques. També perquè poden contribuir a fer una avaluació ambiental estratègica més precisa, i a resoldre molts conflictes actuals que contraposen les prioritats ambientals amb el desenvolupament econòmic. En aquest sentit, parlem de planificació territorial sostenible quan als objectius socioeconò-

¹ Reelaboració i adaptació, efectuada per l'autor, d'un article recent tramès a la revista *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales* (Marull, Tello, Pino i Mallarach, 2008).

mics tradicionals s’hi incorporen objectius socioambientals i es considera la matriu territorial com a premissa ineludible per concretar les decisions espacials d’una planificació estratègica (vegeu la figura 1).

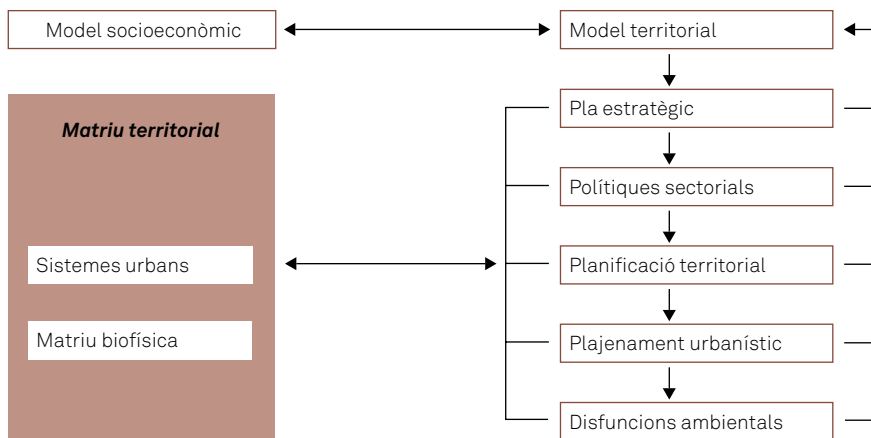


Figura 1. Esquema representatiu de les relacions que s'estableixen entre la matriu territorial, formada per sistemes urbans i la matriu biofísica, i la planificació territorial.

Els conceptes

Els sistemes vius són capaços d'utilitzar l'energia metabòlica per mantenir o fins i tot incrementar la seva organització. L'estructura dinàmica dels éssers vius els permet mantenir la seva informació organitzada i transferir energia amb la màxima eficiència (Gladyshev, 1999). Però l'èxit evolutiu va més enllà del manteniment de l'organització i d'allunyar-se de l'equilibri termodinàmic, perquè també s'ha de projectar en el futur. Així, doncs, un ésser viu és un "sistema sostenible" molt eficient. De fet, l'estructura funcional dels ecosistemes té fortes reminiscències del model termodinàmic d'organisme (Ulanowicz, 2003), i això pot proporcionar criteris útils per delimitar el que entenem per sostenibilitat territorial. En aquest sentit, l'aproximació sistèmica de la vida (Schrödinger, 1944), es concreta en tres postulats bàsics. En primer lloc, la vida no és aliena a les lleis de la termodinàmica, ja que incrementa la seva complexitat exportant entropia

a l'entorn. En segon lloc, un organisme consisteix en una estructura dinàmica amb múltiples cicles energètics i materials relacionats, a diferents escales, de forma fractal, gràcies a una base espaciotemporal heterogènia. I, finalment, el model termodinàmic d'organisme té fortes reminiscències en l'estructura funcional dels ecosistemes i, també, en el que entenem per sostenibilitat territorial (vegeu la figura 2). Seguint aquest fil analític, un diagnòstic sobre l'eficiència dels ecosistemes es pot basar en propietats com ara la biodiversitat i la productivitat, l'ús eficient de l'energia i la seva dissipació mínima. La traducció a sistemes economicoecològics consistiria a quantificar l'heterogeneïtat organitzada en l'espai-temps, la suficiència energètica local en els nivells adjacents, el tancament dels intercanvis metabòlics i, principalment, el balanç en l'explotació humana dels recursos naturals davant la capacitat de resiliència dels ecosistemes.

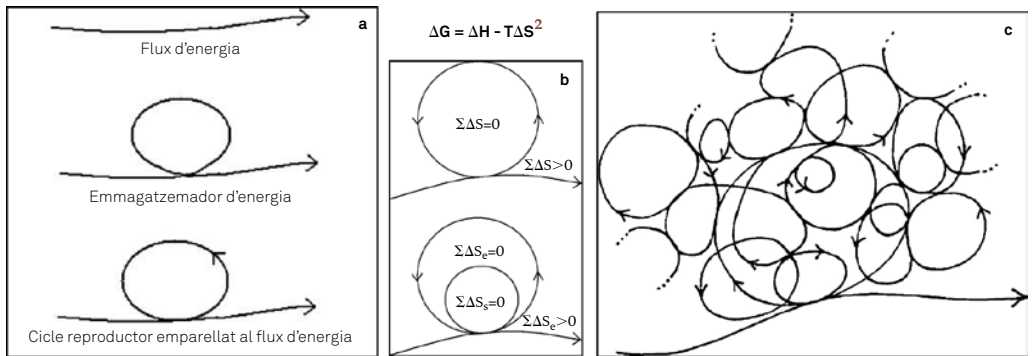


Figura 2. Aproximació sistèmica de la vida. Font: esquema elaborat a partir de Ho & Ulanowicz, 2005.

La complexitat en el territori apareix inevitablement, conseqüència de la dissipació d'energia en l'espai, amb la construcció consegüent d'estructures organitzades, i la successió històrica regida per la selecció adaptativa. Els sistemes complexos creixen i es relacionen els uns amb els altres, tot i les contínues perturbacions i simplificacions, formant galàxies, vida,

² Segons l'expressió matemàtica proposada per Clausius, la diferència d'energia lliure (ΔG) es relaciona amb el canvi d'entalpia (o calor; ΔH), la temperatura (T) i la variació d'entropia (ΔS). Per a Boltzmann, $T\Delta S$ és la mesura del desordre produït en el sistema.

consciència, societats. Xarxes enormes dins d'altres xarxes, que tendeixen a evolucionar a cavall d'un flux d'energia. Segons el principi de Morowitz, un flux d'energia a través d'un sistema és condició necessària i suficient per generar una estructura organitzada (Morowitz, 2002). Seguint aquesta hipòtesi, és impossible dissipar una quantitat d'energia en un temps finit sense crear cap estructura, ni que sigui efímera, en el procés. Disposem, per tant, del fonament teòric per entendre que la sostenibilitat del desenvolupament és funció directa de la complexitat, i inversa de la dissipació d'energia (Margalef, 1991). D'aquesta manera, quan l'augment d'energia dissipada disminueix la complexitat del sistema, la degradació ambiental es fa evident dins i, en tractar-se de sistemes oberts, fora del territori, com ho demostren, per exemple, els càlculs de la petjada ecològica (Rees & Wackernagel, 1996). Per tant, una gestió sostenible del territori també hauria d'implicar una disminució de l'impacte ambiental a escala global (vegeu la figura 3). En la biosfera, l'augment d'entropia està associat a l'adquisició de complexitat gràcies al fet que els sistemes vius aprofiten la radiació solar com si es tractés, en paraules de Margalef, d'una mena de "llibreta d'estalvis termodinàmica" (Margalef, 1991), que uneix al mer subministrament d'energia un mecanisme addicional "que la fa servir per augmentar la informació, complicar-se la vida i escriure la història".

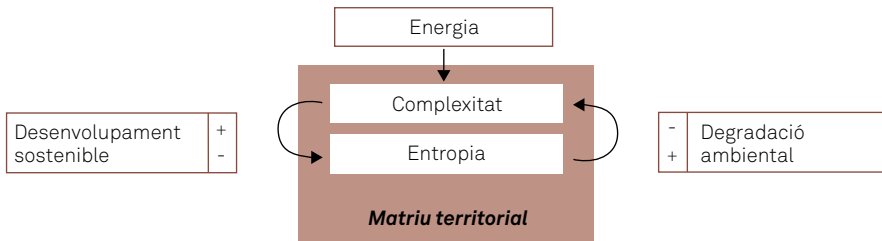


Figura 3. Un camí per entendre la "transformació del territori" és analitzar els fluxos energètics i d'informació derivats de l'intercanvi metabòlic de l'economia amb el seu entorn, identificant els principals impactes ecològics.

Quan l'augment d'energia dissipada disminueix la complexitat del sistema, la degradació ambiental és el resultat de l'estratègia de malbaratament coneguda en ecologia con el principi de la Reina Roja (en al·lusió al personatge d'*Alicia al país de les meravelles*): córrer cada cop més per

continuar al mateix lloc. El principi de Margalef diu que la successió en els ecosistemes evoluciona cap a una disminució en la seva taxa de renovació (Matsuno, 1978). En un espai topològic, l'entropia combinada amb la informació incrementa la diversitat, no la producció d'uniformitat. D'aquí es deriva el concepte d'explotació: la diversitat espacial i la jerarquització de fluxos d'energia i d'informació generen estructures en què els llocs més madurs, estables i complexos exploten els més simples, impredecibles i productius. Però aquesta relació d'interdependència es pot establir de diverses formes. Un model d'explotació espacialment heterogeni permet, per exemple, mantenir una estructura reticulada capaç de garantir certa estabilitat del sistema en el temps. Per això, el món rural tradicional sempre ha cercat mantenir l'equilibri entre explotació i conservació, a través de la localització espacial de diversos gradients d'intervenció humana en el territori (González Bernáldez, 1981). El procés d'explosió metropolitana (*urban sprawl*), que comporta un model de conurbació dispersa, esdevé un exemple oposat perquè se sustenta maximitzant l'entropia que es projecta en l'entorn (vegeu la figura 4). En el cas de la regió metropolitana de Barcelona, l'expansió de l'habitatge unifamiliar va ser molt intensa a partir

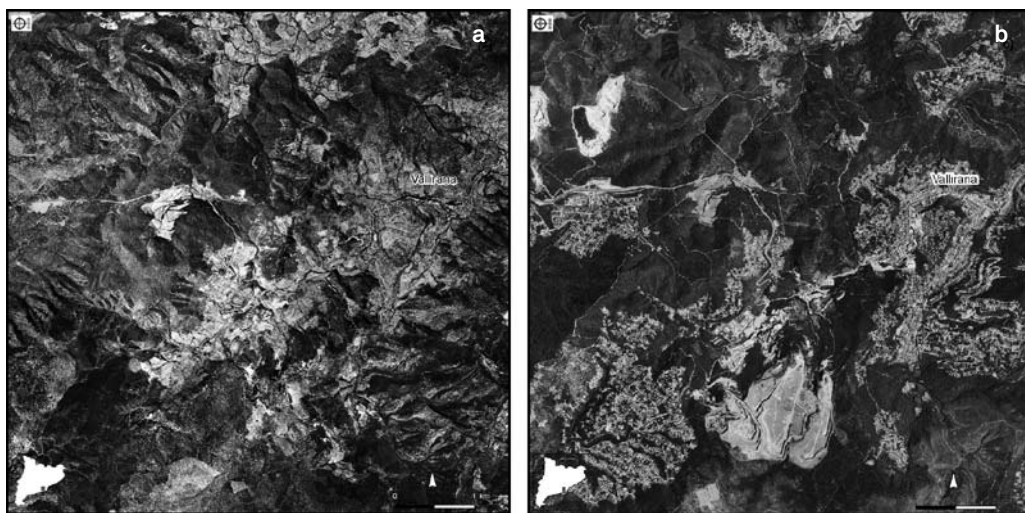


Figura 4. Les imatges mostren la urbanització difusa de la serra de l'Ordal en els darrers cinquanta anys: a) 1957; b) 2007.

dels anys setanta, fins i tot en àrees boscoses amb forts pendents (Acebillo i Folch, 2000). Aquest model d'ocupació del territori és molt poc eficient energèticament, ja que produeix importants disfuncions ambientals, una bona part de les quals, associades al transport. En conseqüència, l'estratègia d'augmentar la complexitat sense necessitat d'incrementar substancialment el sistema dissipatiu esdevé l'alternativa al model de desenvolupament que basa la seva competitivitat en l'augment de la perifèria dissipativa (Rueda, 1995). Es fa palesa, doncs, la necessitat de valorar les solucions paisatgístiques en tant que expressions territorials del metabolisme que qualsevol societat manté amb els sistemes naturals que la sustenten.

Això suggereix la importància d'analitzar l'eficàcia de l'intercanvi d'energia entre les societats humanes i els sistemes naturals, per tal d'identificar els mecanismes que associen la dissipació d'energia amb l'increment, o deteriorament, de la "complexitat" dels ecosistemes, entesa com la capacitat d'acollir diversitat i processos ecològics i, en definitiva, amb la qualitat ambiental (Forman, 1995). Pensem que una bona part de la resposta rau en el que anomenem "eficiència territorial" (vegeu inici del capítol). Aquesta perspectiva relaciona qualsevol estratègia de conservació de la biodiversitat amb el manteniment del funcionament ecològic de la matriu territorial sencera, més enllà de la protecció d'espècies singulars i espais aïllats. De fet, el gran problema ambiental, insistentment assenyalat per Margalef al final de la seva vida, és la "inversió topològica de les pautes del paisatge", és a dir que "la xarxa 'domesticada' esdevingui contínua i més poderosa, mentre la resta del paisatge gairebé passa a la categoria residual" (vegeu la figura 5). Per això, entenia la interacció entre societat i naturalesa com "ecologia de la pertorbació". Un bon coneixement d'aquest fenomen hauria de servir de fonament per a qualsevol proposta de reorientació de les tendències vigents cap a formes de desenvolupament més sostenibles. L'estudi del metabolisme social hi pot ajudar molt, perquè mitjançant la consideració de l'energia subsidiària estem en millors condicions d'entendre l'acció de l'energia externa en els ecosistemes.

La combinació d'energia i espai constitueix un bon punt de partida per modelitzar les relacions entre la societat i el seu entorn. Segons Margalef, per entendre com incideix l'home en l'organització de l'espai cal esclarir conceptualment i formular quantitativament "la relació entre les entrades

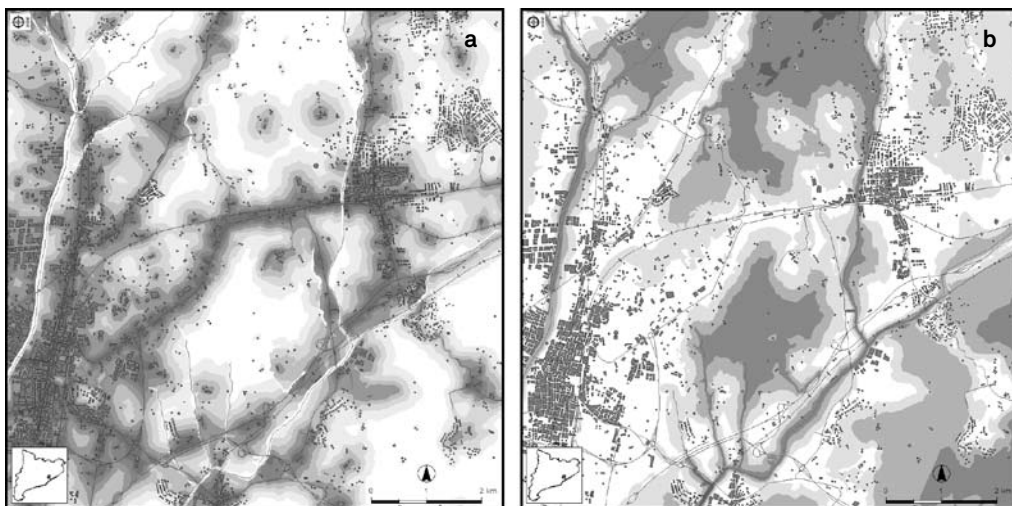


Figura 5. Anàlisi d'inversió topològica mitjançant metodologies paramètriques. Les imatges³ es poden interpretar una com quasi el negatiu de l'altra. Font: Marull i Mallarach, 2005.

d'energia externa i les dimensions que caracteritzen els motius de distribució”, és a dir, el patró o estructura ecopaisatgística de la matriu territorial (Margalef, 1991). Les ciutats són sistemes oberts allunyats de l'equilibri que s'autoorganitzen a canvi de produir increments en els nivells de desordre (entropia) en el medi que les envolta. És a dir, importen energia del medi i la dissipen en formes menys eficients (pèrdua estructural del paisatge, contaminació, disminució de la biodiversitat, etc.). Sense una important entrada d'energia els sistemes urbans no podrien augmentar el seu ordre intern, per això són estructures altament dissipatives (Terradas, 2001). Les ciutats depenen d'uns fluxos energètics que provenen, en últim terme, dels sistemes naturals que les sostenen. Al seu torn, els sistemes naturals es basen principalment en l'energia solar per renovar-se i aporten recursos sempre limitats. A escala global, des de la dècada dels noranta es consumeix per sobre dels ingressos, cosa que redueix el capital natural. Per tant, cal garantir els mecanismes de renovabilitat energètica dels sistemes

³ La imatge 5a mostra l'impacte acumulatiu dels sistemes urbans i les infraestructures sobre l'espai circumdant (el color més fosc reflecteix major afectació), calculat amb l'índex d'afectació de les barreres (IAB). La segona imatge, la 5b, expressa una aproximació a la funcionalitat ecològica de la matriu territorial (el color més fosc reflecteix major connectància entre sistemes naturals), calculada amb l'índex de connectivitat ecològica (ICE).

autòtrofs de què depenem i mantenir-ne la informació organitzada, per tal d'evitar explotar-los per sobre de la seva "capacitat de càrrega".

Reduir la pressió sobre l'entorn no ha de comportar necessàriament la reducció de la complexitat urbana, cosa que en comprometria el futur. Certament, s'accepta que, en general, la disminució de l'energia en un sistema en compromet l'organització interna. Però s'ha demostrat que els sistemes més simples depenen més fortament dels nexes energètics i, a mesura que els sistemes es fan més complexos, l'energia té un paper cada cop més secundari en benefici de la informació, que passa a ser el nexa organitzador principal del sistema. Augmentar la informació organitzada és, per tant, l'estratègia urbana per competir en el món, i hauria de substituir bona part de l'estratègia basada en el consum de recursos. Una major complexitat urbana proporciona avantatge en relació amb altres sistemes més simplificats (la informació es multiplica, l'energia se suma) ja que augmenta la funcionalitat i l'estabilitat de la ciutat (Rueda, 2002). Un model urbà que incorpori un augment de l'organització interna i, alhora, una disminució de la pressió sobre l'entorn sembla necessari per resoldre el repte de la sostenibilitat, i més encara en l'actualitat, en què la capacitat transformadora de l'home es dona a una escala espaciotemporal sense precedents històrics. En aquest sentit, repensar el territori en termes sistèmics és absolutament oportú, perquè els mecanismes funcionals (fluctuacions de població, mobilitat, recursos naturals i energètics) estan canviant encara més ràpid que la mateixa estructura del paisatge (Marull, Tello, Pino i Mallarach, 2008) (vegeu la figura 6).

Que els sistemes urbans no siguin autosuficients no significa que resultin insostenibles, són dos conceptes diferents que sovint es confonen (Folch, 2003). Les ciutats són heteròtrofes, importen energia, aigua, aliments i matèries primeres d'una ampla perifèria, fet que les converteix en importants elements vertebradors, o desestructuradors, segons els casos, de la matriu territorial. D'altra banda, exporten grans quantitats de residus, esdevenen importants agents contaminants de la seva perifèria i contribueixen significativament al canvi global. Tot això comporta la necessitat de considerar la xarxa de sistemes urbans una estructura socioecològica dinàmica que cal gestionar globalment, d'una manera integrada amb el seu entorn. En definitiva, les ciutats han de ser elements destacats en un es-

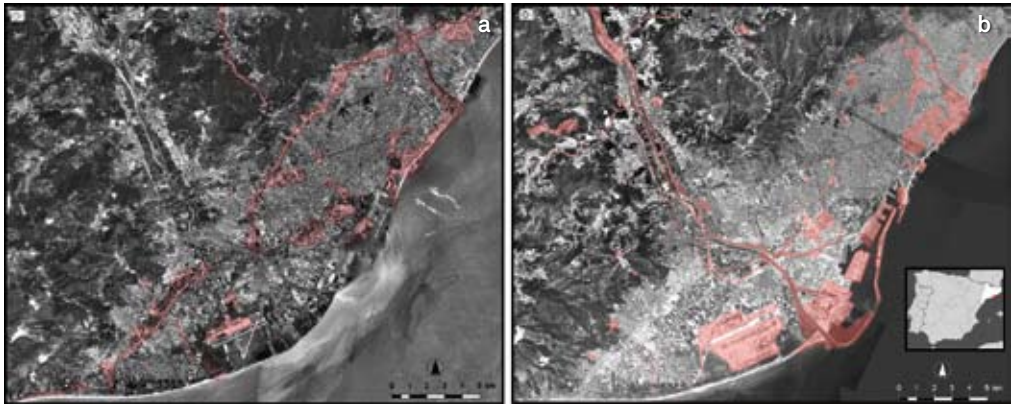


Figura 6. Transformacions urbanístiques i d'infraestructures ocorregudes a l'àrea metropolitana de Barcelona durant el període preolímpic (1986-1992) (primera imatge) i des dels Jocs Olímpics fins ara (1992-2007) (segona imatge). Font: fotografies NASA-Johnson Space Center (sensor HRV del satèl·lit SPOT).

tudi funcional complet de la matriu territorial, principalment en relació amb els fluxos d'energia, i matèria, que és equivalent, i com aquests fluxos canvien en el temps. D'altra banda, cal relacionar l'estructura espacial dels factors físics, biològics, socials i econòmics amb el funcionament global del sistema urbà. Finalment, convé que ens plantejem de quina manera la nostra comprensió del concepte de territori com a sistema pot ajudar-nos a millorar la qualitat de la nostra vida i la del medi de què depenem.

Les eines

Si considerem el territori com un sistema complex, podem escollir un mètode ecosistèmic per estudiar-lo (May, 1989). D'acord amb aquesta premissa, la matriu territorial, i el paisatge, serien sistemes heterogenis, dinàmics, organitzats en nivells jeràrquics de complexitat que dependrien de la seva escala espaciotemporal (Prigogine i Stengers, 1997). Aquesta aproximació, emprada en l'ecologia del paisatge quantitativa, permet transferir les teories actuals sobre la matriu biofísica en eines útils per a una planificació territorial més sostenible (Mallarach i Marull, 2006). La formulació matemàtica que s'hi associa, si bé pot dificultar la comprensió

d'alguns conceptes, permet formalitzar i acotar característiques importants i intuïtives del terreny. Les aproximacions conceptual i metodològica conflueixen, per tant, en el tractament del territori com a sistema:

$$T = F(X) = \{V \text{ és obert de } T, V \subset X\}$$

On X és la matriu territorial, és a dir, la superfície total de terreny que es vol estudiar. Considerem T una topologia discreta: tot subconjunt (V) de X és obert (a fluxos en el sistema) de T . La superfície així definida resulta contínua i quantificable. Per tant, l'expressió formal de X parteix de la reunió de tots els punts (p_i) en un àmbit d'estudi:

$$X = \bigcup_{i \in I} p_i$$

D'aquesta manera, es defineix un “espai topològic” uniforme, estratificat i elegant que l'expressió matemàtica ha volgut destacar. Un cop definida formalment la matriu territorial, el mètode paramètric proposat pretén interactuar per comprovar l'efecte que diferents plans transformadors o mesures correctores poden produir sobre el medi biofísic subjacent, mitjançant iteracions successives. La matriu territorial s'ha definit, precisament, com la base resultant de les interrelacions entre la matriu biofísica i les transformacions degudes a l'activitat humana (Marull, Tello, Pino i Mallarach, 2008). En la percepció del planificador ve a ser l'espai que es proposa modificar, per generar la matriu territorial de la transformació següent. Amb aquest propòsit, es consideren dues mètriques complementàries: d'una banda, una valoració homogènia de la matriu territorial basada en una estructura d'índexs ecològics que conflueix en el càlcul de l'aptitud territorial de plans i programes (Marull, Pino, Mallarach i Cordobilla, 2007), i de l'altra, una modelització de la connectivitat ecològica entre elements del paisatge, com a anàlisi de la funcionalitat territorial de diverses alternatives o escenaris, cosa que permet calcular els impactes acumulatius que hi estan relacionats (Marull i Mallarach, 2005). Per tant, adoptem com a base conceptual el “model continu” de paisatge recentment proposat (Fischer i Lindenmayer, 2006).

Mitjançant l’“aptitud territorial” es pretén determinar la idoneïtat d’una extensió de terreny per a un ús del sòl concret (Steiner, McSherry i Cohen, 2000). Aquesta eina va ser desenvolupada inicialment com a recurs tècnic destinat als planificadors, ja que els proporcionava una visió sistèmica de l’entorn a partir d’una sèrie de factors espacials independents. D’acord amb estudis recents, el càlcul de l’aptitud territorial és una anàlisi multicriteri dependent del context i basada en criteris d’experts, que en última instància són els que defineixen els factors més rellevants que cal tenir en compte, els seus valors òptims i les ponderacions que s’han d’aplicar en els algorismes (Stoms, McDonald i Davis, 2002). En aquest marc de treball, es proposa una estructura jeràrquica, modular i transparent de mètriques amb aplicació cartogràfica (Marull, Pino, Mallarach i Cordobilla,

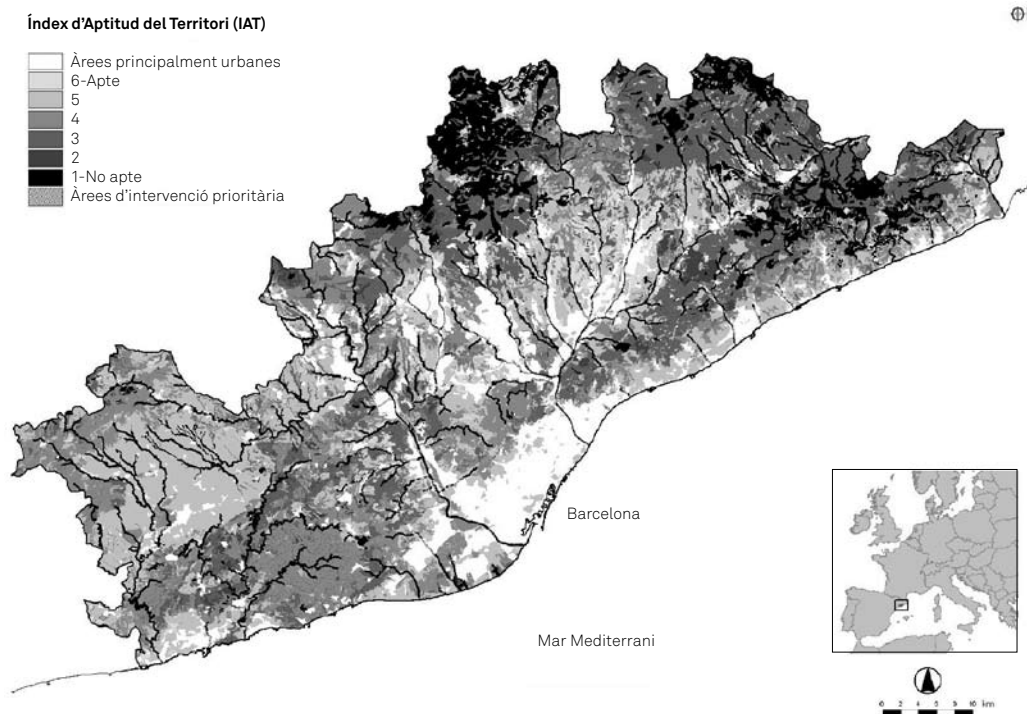


Figura 7. La imatge mostra l’aplicació del IAT a la regió metropolitana de Barcelona, a partir de la base conceptual del “model continu de paisatge” (Fischer i Lindenmayer, 2006). Els colors més foscos expressen menor aptitud.

2007), que es concreta en un índex d'aptitud del territori (IAT). S'incorporen les principals variables geològiques, hidrològiques, biogeogràfiques, estructurals i funcionals (vegeu la figura 7), informació rellevant per establir directrius preventives, correctores o compensatòries en la planificació i l'avaluació ambiental estratègiques, cosa que permet avaluar i comparar diferents escenaris, i facilitar, al seu torn, els processos de participació ciutadana.

$$IAT = 1 + 5 [\log (\Delta + 1) / \log K_{\Delta}]$$

$$\Delta = \Delta_{IVT} \Delta_{IVPN} \Delta_{ICE}$$

On Δ és el valor de l'aptitud de la matriu territorial (X), que resulta de l'aptitud del medi físic (Δ_{IVT}), el component biològic (Δ_{IVPN}) i les seves relacions funcionals (Δ_{ICE}). $K_{\Delta} = \log 65$ és una constant que permet relativitzar els valors possibles de l'índex en una distribució teòrica normal.

La incorporació de la “funcionalitat territorial” en plans i programes ha produït resultats interessants però desiguals en el planejament i la normativa, sobretot per la falta d'un marc regulador que els donés coherència i la coordinació administrativa insuficient (Mallarach, Marull i Pino, 2008). D'altra banda, encara que hi ha un clar consens científic respecte d'això, l'ecologia del paisatge ha trobat dificultats a l'hora d'establir una relació matemàtica sòlida entre patrons espacials i processos funcionals (Li i Wu, 2004), en part perquè l'activitat humana estableix els seus propis esquemes topològics en el territori. En qualsevol cas, la relació entre “patrons” i “processos” és un axioma fonamental en ecologia i actualment un objectiu prioritari de recerca (Turner, 2005). En general, els sistemes complexos es basen en xarxes constituïdes per nodes i connexions, que interactuen segons bucles retroactius i que produeixen mecanismes d'autoregulació que garanteixen certa homeòstasi davant les incerteses del medi. En els ecosistemes hi ha un compromís entre regularitat i atzar, fet que aporta la màxima complexitat aparent: hi ha pocs nodes molt connectats i molts nodes poc connectats, són les denominades “xarxes lliures d'escala”. Aquestes distribucions potencials de freqüència tenen relació amb l'èxit en la captura de recursos i/o d'espai i, per tant, perduren en el temps (Margalef, 1977). La matriu territorial es comporta com una xarxa per a moltes de

les seves propietats funcionals, entre les quals destaca la “connectivitat” pel seu paper en la conservació d’espècies i processos (Chetkiewicz, Clair i Boyce, 2006). L’índex de connectivitat ecològica (ICE) és una mesura de les interaccions entre els processos ecològics bàsics (a múltiples escales) que tenen lloc en el territori:

$$\begin{aligned}
 & m = n \\
 ICE_a &= \sum_{m=1}^n ICE_b / m \\
 & m = 1
 \end{aligned}$$

On m és el nombre de classes d’àrees ecològiques funcionals (AEF) considerades. Entenem la dita “funcionalitat” com la capacitat de configurar àrees focals per a la connectivitat, a escala de matriu territorial (X). En territoris fragmentats per barreres antropogèniques, la seva identificació, a partir de propietats intrínseques i contextuals, pot tenir un valor molt rellevant, independentment del grau de connectivitat que tenen:

$$ICE_b = 10 - 9 (\ln(1 + x_i) / \ln(1 + x_t))^3$$

On x_t és el valor màxim teòric del model de distància de costos, calculat per classe d’àrea ecològica funcional. S’utilitza la representació node/connexió, en què el centre de cada cel·la (p_i) es considera un node connectat a les cel·les adjacents. D’aquesta manera, cada connexió té una impedància associada que es deriva dels costos de cada cel·la i de la direcció del moviment. La matriu d’impedància (X_i) que requereix el model es calcula a partir d’una matriu d’afinitat respecte als usos del sòl (X_A) i l’afectació de les barreres antropogèniques en l’espai circumdant (X_b).

Las dues dècades posteriors a la irrupció de l’ecologia del paisatge quantitativa a Europa (Naveh i Lieberman, 1984) han presenciat desenvolupaments sense precedents, en la teoria i en la pràctica, que han portat l’anàlisi espacial i la modelització territorial al front de la investigació ecològica (Wu i Hobbs, 2002). L’aplicació d’aquestes metodologies, a diferents escales de treball, ha demostrat la seva interacció, tant conceptual com tècnica, amb planificadors i responsables polítics (Mallarach i Marull, 2006). No obstant això, és necessari conèixer les limitacions dels índexs territorials en l’avaluació ambiental estratègica de plans i programes (Op-

dam, Foppen i Vos, 2001). Per ser d'utilitat, els algorismes han de ser tan vàlids com exactes en l'escala en què es prenen les decisions. D'altra banda, la seva fiabilitat depèn tant de l'algorisme de càlcul emprat com dels paràmetres que l'integren (Andreasen, O'Neill, Noss i Slosser, 2001). És important remarcar que les eines presentades únicament aborden un aspecte de l'avaluació ambiental: el seu impacte des del punt de vista de la sostenibilitat territorial. La major part dels impactes associats al consum de recursos, d'energia o les emissions s'exporten fora del territori i han de ser avaluats mitjançant altres mètodes, com per exemple la petjada ecològica (Rees i Wackernagel, 1996).

Les metodologies per avançar en aquesta direcció han de ser transdisciplinàries, i ja estan disponibles en els camps de l'economia ecològica i l'ecologia del paisatge. D'una banda, l'economia ecològica està desenvolupant la comptabilitat de fluxos i balanços biofísics d'energia i materials, així com l'apropiació humana dels ecosistemes (Constanza, *et al.*, 1997). D'altra banda, l'ecologia del paisatge ha desenvolupat diverses mètriques (McGarigal, Cushman, Stafford, 2000) que permeten avaluar les relacions entre l'estructura del paisatge i la funcionalitat ecològica que tenen, cosa que, cada cop més, es perfila com una bona aproximació sistèmica a la sostenibilitat territorial (Turner, 2005). Ambdues aproximacions han començat a col·laborar recentment a Catalunya (Marull, Pino, Tello i Mallerach, 2006), mitjançant l'aplicació d'índexs territorials a la cartografia històrica d'usos del sòl, de manera que obren la porta a una perspectiva dinàmica evolutiva, a la vegada ecològica i econòmica, de la transformació de la matriu territorial (vegeu les aplicacions).

L'enllaç entre economia ecològica i ecologia del paisatge connecta amb el gir que estan experimentant arreu del món les polítiques de conservació de la biodiversitat. L'Estratègia Mundial de la Conservació (1980) va introduir la idea que la "conservació" implica l'ús sostenible, prudent i responsable dels recursos i serveis ambientals de tot el territori, i no es pot confondre amb la preservació d'unitats aïllades sense intervenció humana. Tal com proclama el Conveni europeu del paisatge (2000), del qual parteix la llei catalana recentment aprovada, "tot el territori és paisatge": des d'espais urbans o infraestructures, fins a espais naturals protegits, passant pels mosaics agroforestals que històricament han tingut un paper es-

sencial en la conservació (Agnoletti, 2002). Uns i altres s'han d'integrar en un gradient diversificat d'intervenció humana i han de mantenir el funcionament ecològic del paisatge per tal de garantir uns "serveis ecosistèmics" que no tenen substituïts. En aquest context, la primera tasca de l'Observatori del Paisatge de Catalunya és identificar i catalogar les diferents unitats paisatgístiques. Però, sense tenir en compte la seva trajectòria històrica, com es podran gestionar per conservar la qualitat ambiental del territori entès com a sistema? El mateix Observatori coincideix en el fet que per a la interpretació del paisatge, i la correcta gestió dels recursos que aquesta permet, la visió històrica és una necessitat (González, 1981).

El model

Un cop definits els conceptes i les eines necessàries, cal un model territorial que permeti posar-los a la pràctica. El model socioeconòmic actual ha estat responsable del gran creixement urbanístic produït en els darrers cinquanta anys i, també, de la crisi coetània del sistema agroforestal tradicional. Ambdós processos han originat una important devaluació conceptual del territori entès com a patrimoni col·lectiu, coherent amb l'aproximació sistèmica, que, a la pràctica, ha passat a ser considerat poca cosa més que un "sòl disponible". Aquesta desconsideració gradual del valor de la matriu territorial implica una despreocupació general en la seva gestió, incipientment recuperada en alguns indrets. Una part del territori té assignats usos del sòl definits (àrees urbanes, espais naturals protegits, etc.), mentre que la resta està constituïda per "sòl expectant", és a dir, sense definició clara en termes d'ordenació territorial i, en conseqüència, més o menys paraurbanitzada i, sovint, degradada ambientalment (Acebillo i Folch, 2000). Fet que explica la percepció, especialment en àrees metropolitanes, d'un paisatge banal, intensament antropitzat.

En el passat, les societats organitzaven els usos del sòl en gradients d'intensitat, però sempre de manera integrada perquè d'això depenia la seva subsistència. Les poblacions no únicament vivien "en" un territori, sinó "del" territori que habitaven. En una economia de base orgànica, dependent de la fotosíntesi per obtenir pràcticament qualsevol producte, com

més gran era la densitat de població més important resultava gestionar el territori eficaçment. L'exploració a gran escala dels combustibles fòssils va superar l'antiga dependència energètica local. Diversos estudis contribueixen a analitzar els canvis ocorreguts en la matriu territorial, la seva relació amb les forces motores socioeconòmiques i la pèrdua consegüent de funcionalitat ecològica (Tello, *et al.*, 2006). Aclarir aquest punt és indispensable perquè la degradació ambiental que ha comportat abandonar l'ús integrat del territori urgeix a plantejar-nos recuperar l'"eficiència territorial" en un context social, econòmic i ambiental molt diferent. La major part de regions històriques del món, amb baixa densitat de població i períodes econòmicament acceptables, van saber dissenyar el paisatge (McHarg, 1969). Quan la societat rural es va haver d'articular en una societat urbana incipient, es va produir una lleu estructuració del territori de relativa i fàcil correspondència amb un model sostenible. En el cas de l'expansió urbana actual, la seva difícil integració territorial s'hauria de veure afavorida per les noves tecnologies (sanejament, informació, etc.). Es disposa, en efecte, d'instruments adequats per saber "com" s'ha d'actuar i "on" és possible assumir segons quins riscos. No obstant això, l'adopció d'aquestes tècniques i mètodes per a la gestió dels condicionants ambientals és condició necessària però no suficient. Es requereix, també, un nou paradigma de societat urbana integrada en el seu entorn.

Aquest important corrent de pensament suggereix fer un esforç sistemàtic cap a un model emergent de territori, l'estratègia del qual es fonamenta a potenciar l'augment de complexitat disminuint el sistema dissipatiu, sempre que això sigui possible, argumentant que no hi ha solució al sistema metropolità sense una articulació integral de l'espai urbà en la matriu territorial de què forma part. Es tracta d'un model teòric, que té el suport de la majoria d'urbanistes de la sostenibilitat (Pesci, 1999), que pretén descentralitzar les grans aglomeracions urbanes per recobrar l'escala humana dels barris, potenciant-ne la complexitat interna i disminuint-ne el consum d'energia, principalment la destinada al transport. El model proposa una regió urbana, entesa com una fragmentació de la megàpoli, mitjançant un procés quasi fractal que resulta en múltiples ciutats intermèdies, compactes, complexes, integrades en el seu entorn històric. Es pretén aconseguir competitivitat econòmica, qualitat de vida a les ciutats i

funcionalitat ecològica del paisatge, i al mateix temps garantir un bon estat ambiental. S'evita la urbanització difusa i es fa possible l'aprofitament de les energies renovables sense la pressió de buidatge funcional del territori provocat per les megàpolis actuals.

L'ecologia del paisatge ha posat en evidència la necessitat de gestionar l'espai i els recursos de manera integral, per tal de garantir els processos ecològics i els balanços del metabolisme social (Pino i Rodà, 1999). No obstant això, l'ordenació dels espais oberts ha passat per successives etapes en què s'han considerat diversos elements del paisatge. La definició d'un sistema d'espais naturals aïllats va representar un primer estadi que pretenia protegir determinades espècies i hàbitats. Posteriorment, es va proposar la interconnexió d'aquests espais per preservar processos ecològics en un entorn cada vegada més antropitzat, i això va conduir a considerar elements connectors mitjançant una xarxa d'espais protegits (Beier i Noss, 1998). Però, són suficients aquests elements per garantir el funcionament ecològic del territori? És evident que cal un tercer element cada cop més dominant en el paisatge: la "matriu", més o menys antropitzada, d'espais oberts no protegits. Considerar aquesta matriu, juntament amb la xarxa d'espais protegits, és un pas necessari i un repte important, perquè implica incorporar els criteris de sostenibilitat en totes les polítiques sectorials.

En efecte, com mai abans, la matriu territorial es vertebrava a partir de la ciutat. Aquest fet instaura una important tensió entre l'espai obert i l'espai urbà, que es pot simplificar en la coneguda, i anacrònica, dicotomia entre camp i ciutat. Nombrosos estudis permeten entendre millor de quina manera la fragmentació antròpica del paisatge afecta la biodiversitat (Fahrig, 2003). Com a resultat, coneixem les relacions entre la distribució espacial dels usos del sòl i els patrons de distribució de molts organismes. Tanmateix, més enllà de facilitar una comprensió raonable dels "processos espacials" que se succeeixen en el paisatge, el "model de fragmentació" no ofereix una explicació completa dels canvis en els "processos ecològics" associats als patrons de distribució de la biodiversitat. Recentment s'ha proposat un "model continu" del paisatge (Fischer i Lindenmayer, 2006) que relaciona els processos espacials derivats del "model de fragmentació" amb altres aspectes essencials per a la conservació, com ara la importància dels processos ecològics, les respostes diferenciades de les espècies a

aquests processos i l'heterogeneïtat paisatgística en relació amb el manteniment de la biodiversitat. Aquesta aproximació és particularment apropiada en paisatges intensament antropitzats com els de la mediterrània, on la conservació de la biodiversitat ha estat històricament associada als mosaics agroforestals.

Des d'una concepció funcional del territori s'analitzen les implicacions, a diverses escales, del model de mosaic territorial (tessella, corredor, matriu), procedent de l'ecologia del paisatge clàssica. La figura 8a mostra la representació a escala de paisatge, on els elements es corresponen a classes d'usos del sòl; la figura 8b la mostra a escala regional, on els elements són àrees amb diverses funcions en relació amb la conservació. Es parteix de principis teòrics àmpliament acceptats que, un cop adaptats a l'àmbit ecopaisatgístic mediterrani, aporten criteris útils per a l'ordenació dels espais oberts (Forman i Godron, 1986). El paisatge és un element destacat de la nostra dimensió perceptiva. En un context evolutiu, dinàmic i històric, representa una amalgama entre natura, cultura i societat. La conca mediterrània és un mosaic de paisatges antropogènics amb molts segles d'antiguitat que acullen un dels principals *hot spots* de biodiversitat del planeta. La seva conservació, un objectiu que han assumit legalment tots els estats europeus, mai no es podrà aconseguir sense la integració adequada dels assentaments humans en l'“estructura funcional” del paisatge. El repte consisteix, per tant, a disposar de criteris i eines d'ordenació del territori que facin compatible el desenvolupament urbanístic i d'infraestructures necessari que requereix el país amb la preservació dels processos ecològics bàsics i el manteniment d'una qualitat paisatgística i ambiental acceptable. Per abordar aquest transcendental problema de la societat contemporània, s'ha de fer una aproximació matemàtica al model de mosaic territorial segons el model continu de paisatge, i se'n proposa l'aplicació complementària a l'ordenació dels espais oberts (Fischer i Lindenmayer, 2007). En definitiva, es pretén contribuir a canviar els enfocaments en política de conservació i gestió del territori, i introduir la idea que és necessari no únicament “protegir” espais aïllats, sinó preservar el territori de manera integral. I això vol dir, fonamentalment, que cal introduir el concepte de “matriu territorial” com una premissa bàsica en els processos de planificació urbanística i territorial.

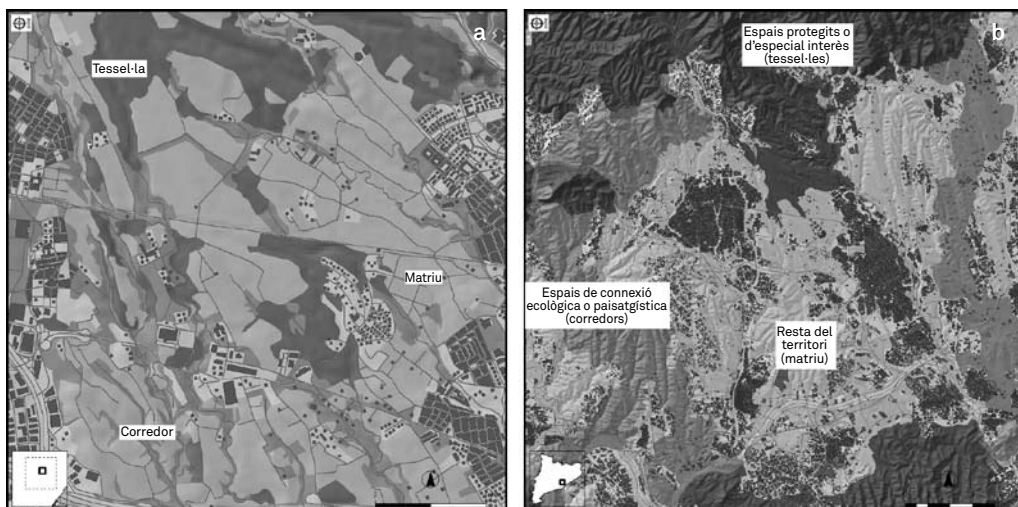


Figura 8. Model de mosaic territorial aplicat a l'àrea situada entre Terrassa i Sabadell. Font: Pino i Rodà, 1999.

L'aplicació

Un model conceptual es considera més robust quan sobreviu en contrastar-lo repetides vegades amb la realitat. Per posar a prova l'aplicabilitat de les noves metodologies paramètriques emprades en desplegar el model de mosaic territorial, s'han fet diverses aplicacions en casos concrets d'estudi, elaborades a diferents escales de treball i tipologies de planejament. Així, s'ha verificat la utilitat de la metodologia a escala de diagnosi ambiental, com a suport de plans sectorials i parcials, en l'anàlisi de l'aptitud de plans urbanístics i d'infraestructures, i també les relacions que mantenen amb l'avaluació de projectes i obres, tant a escala nacional com internacional (Mallarach, Marull i Pino, 2008). Per mostrar com treballa el mètode, a continuació es presenten diversos casos concrets d'estudi, tots realitzats a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Un objectiu empíric dels treballs era posar a prova la hipòtesi que sota el deteriorament de la productivitat energètica dels sistemes agroforestals i la crisi d'un món rural que va perdent la seva capacitat de gestionar el territori, s'entreveu una important pèrdua de funcionalitat territorial associada

a un canvi en la composició i l'estructura del paisatge (Tello, Marull i Pino, 2008). Els resultats d'una anàlisi històrica dels usos del sòl en una zona representativa del Vallès (vegeu la figura 9) van demostrar que el canvi de model energètic coincideix en el temps amb un important canvi estructural del paisatge per causes antròpiques, que es concreta en un augment de la fragmentació del territori (McGarigal, Cushman i Stafford, 2000). Es va confirmar el dèficit en el balanç energètic dels sistemes agroforestals actuals, comparats amb la seva situació a mitjan segle XIX: mentre que l'any 1860 s'obtenien 1,7 unitats energètiques per unitat invertida, l'any 2004 el rendiment era únicament de 0,2 (Cussó, Garrabou i Tello, 2006); és a dir, per cada unitat d'energia obtinguda s'inverteixen 4,5 unitats per produir-la. La comparació entre aquests balanços també revela que sota l'augment espectacular de les entrades (*inputs*) externes i les enormes pèrdues de transformació experimentades pel sistema agroforestal, hi ha un important procés de modificació dels usos del sòl que comporta un desencaix territorial creixent del metabolisme social: els principals fluxos travessen el territori com si es tractés d'un mer suport inert, sense afavorir un metabolisme integrat en el paisatge. L'aplicació de les noves mètriques (Marull, Pino, Mallarach i Cordobilla, 2007) reforça aquesta tesi: els resultats de l'índex d'estructura ecopaisatgística expressen la pèrdua de la capacitat del territori com a hàbitat durant del període estudiat. Al seu torn, la capacitat connectiva del territori també es veu molt afectada pels canvis (vegeu la figura 9). Tot això porta a una simplificació quantitativa i qualitativa dels ecosistemes. La pèrdua de funcionalitat ecològica en paisatges desestructurats es manifesta, per tant, en la seva incapacitat per acollir i connectar processos ecològics complexos. Les associacions entre energia i complexitat, estructura i funcionalitat, són un bon punt de partida per a modelitzar les relacions entre societat i entorn. A tall d'exemple, a la part superior de la figura 9, es mostren els resultats d'un estudi realitzat al Vallès (Tello, Marull, Pino, 2008), una anàlisi històrica de l'eficàcia energètica del sistema agroforestal en tres municipis durant els darrers cent cinquanta anys, que permet entendre millor la relació complexa i canviant entre ús d'energia i canvis en els usos del sòl i pot donar claus per a una ordenació sostenible del territori. A la part inferior de la figura 9, es mostra una altra anàlisi de la transformació del territori, en un àmbit d'estudi més ampli, durant

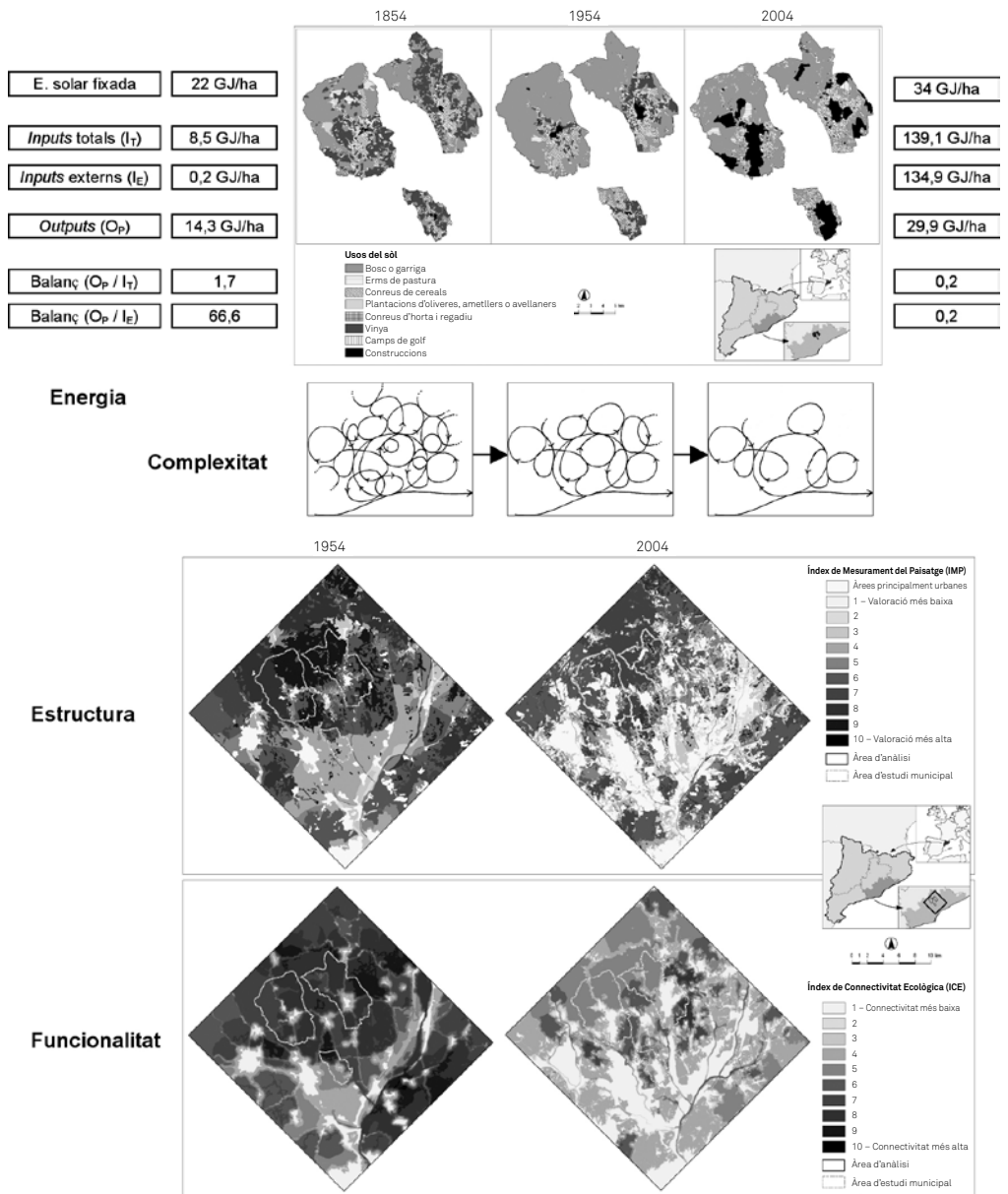


Figura 9. A la part superior, resultats d'un estudi realitzat al Vallès sobre l'“eficàcia energètica” del sistema agroforestal els darrers cent cinquanta anys; a la part inferior, resultats d'un altre estudi sobre l'anàlisi de la transformació del territori, en un àmbit d'estudi més ampli, durant els darrers cinquanta anys.

els darrers cinquanta anys; es pot veure la forta relació existent entre els canvis en l'estructura del paisatge i la seva funcionalitat ecològica. En les dues anàlisis s'han utilitzat, respectivament, l'índex d'estructura ecopaisatgística (Marull, *et al.*, 2004) i l'índex de connectivitat ecològica (Marull i Mallarach, 2005).

Els treballs realitzats han estat el fonament per elaborar una proposta preliminar d'ordenació dels espais oberts per al conjunt de l'àrea metropolitana de Barcelona (vegeu la figura 10), fet que, al seu torn, ha permès avaluar la relació entre la xarxa ecològica d'espais protegits i la resta de la matriu territorial. Es parteix del model de mosaic territorial desenvolupat a escala de directrius estratègiques (Forman, 2004), que s'apliquen mitjançant el suport de noves metodologies paramètriques (IAT) elaborades a escala de planejament territorial (Marull, 2005) i posteriorment verificades mitjançant un estudi de camp. En resulten dos nivells bàsics d'orde-

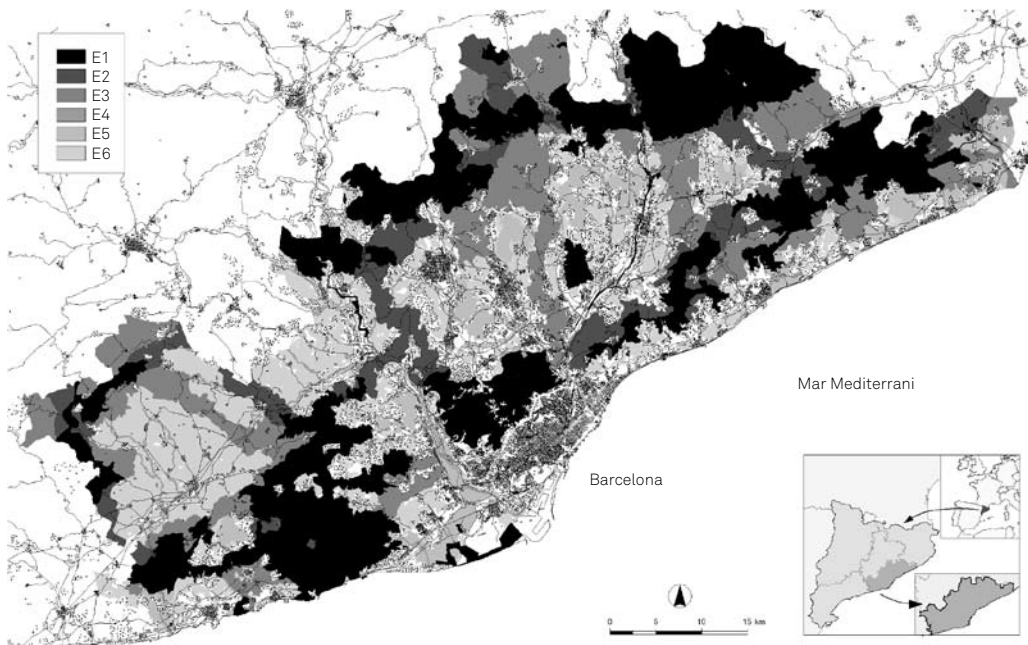


Figura 10. Mapa de síntesi d'un estudi de base per a l'ordenació dels espais oberts a l'àrea metropolitana de Barcelona elaborat a partir del model de mosaic territorial segons l'ecologia del paisatge clàssica (Forman, 2004). Font: Marull, *et al.*, 2004.

nació (xarxa d'espais protegits i matriu d'espais oberts) que es classifiquen segons un ordre jeràrquic de protecció (especial, territorial, preventiva) en sis subnivells: E1) espais protegits; E2) espais connectors principals i de reforç d'àrees protegides; E3) espais connectors secundaris i d'especial interès ecològic; E4) corredors ecològics (espais fluvials d'especial interès connector); E5) espais estructuradors del territori (separació urbana, parcs agraris); E6) espais esmorteïdors de la pressió antròpica (enclavaments verds, paisatge agrícola).

Mitjançant el model de connectivitat ecològica (ICE) s'ha comprovat la importància d'incorporar elements de la "matriu" (d'E4 a E6) per garantir el funcionament ecològic del territori, considerant el planejament urbanístic i d'infraestructures vigent, respecte a criteris clàssics de protecció d'espais discrets, fins i tot quan aquests estan connectats en xarxa (d'E1 a E3). Els resultats corroboren la hipòtesi que cal integrar els assentaments humans en l'estructura funcional del paisatge (vegeu la figura 11), repte que requereix un nou model conceptual, eines d'anàlisi apropiades i habilitat i capacitat política per revertir les tendències territorials més insostenibles.

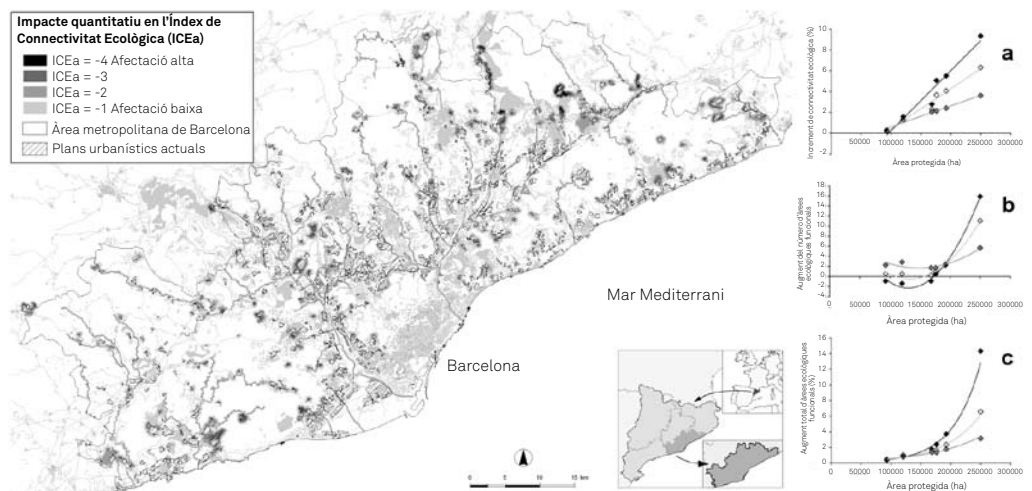


Figura 11. El mapa mostra la diferència entre els escenaris actual i tendencial (plans urbanístics vigents a la regió metropolitana de Barcelona) i detecta (color negre) els punts crítics en el sistema i l'extensió de l'impacte (colors grisos), sovint d'abast supramunicipal. Les gràfiques expressen els increments en la connectivitat ecològica (ICE) per diversos escenaris tendencials.

Hi ha diverses raons que expliquen i en part justifiquen aquests resultats. Tal vegada la més destacable és que en un principi era necessari assegurar la conservació de les grans serres metropolitanes, àrees “naturals” al mig d’un territori altament antropitzat, amb valors biològics i geològics notables. Però això no justifica l’escassa consideració que actualment es té per la matriu d’espais oberts no protegits a les valls, que són els que precisament reben més pressió urbanística i d’infraestructures de tota mena, així com la intensificació agrícola i l’abandonament de les activitats agràries tradicionals. Diversos estudis han demostrat empíricament el valor ecològic dels mosaics agroforestals, especialment en àrees metropolitanes (Santos, *et al.*, 2008). En aquest sentit, una avaluació d’impacte potencial del conjunt de plans urbanístics vigents en la regió metropolitana de Barcelona ha permès identificar els sectors urbanitzables especialment problemàtics en relació amb els components físic, biològic i funcional de la matriu territorial, i també les àrees més aptes (IAT) per establir assentaments urbans, segons la proposta d’ordenació dels espais oberts. L’anàlisi ha constatat que certa proporció de sectors urbanitzables està en sòls molt poc o gens aptes per a aquest ús, alguns dels quals tenen greus implicacions en el funcionament global del territori. D’altra banda, s’identifica una superfície més gran de sòls aptes, amb planejament sense executar o sense planejament, fins i tot vinculats a la xarxa ferroviària actual o prevista.

Consideracions finals

En l’origen, quan l’ésser humà alça la mirada i percep la complexitat del món, intenta comprendre-la de l’única forma possible, és a dir, abraçant-la en la seva totalitat (Wagensberg, 1985). Etimològicament, “comprendre” ve de “comprimir”, tanmateix, en reduir la complexitat que volem entendre a l’estudi de les seves parts, les propietats emergents del sistema es difuminen de manera similar a constrènyer aigua entre les mans. Per això, la nostra percepció del paisatge va ser, abans que res, expressada holísticament mitjançant els sentiments i l’art. Fins que la ciència no va ser capaç de tractar el concepte de paisatge, de concebre’l de manera sistèmica com un algoritme, no ens vàrem adonar que, justament, l’aspecte que percebem del territori

és una representació de la realitat que ens envolta. La ciència no tracta del perquè sinó del com i, encara que no en sabem les causes, la natura també es pot expressar, a part de fer-ho amb la pintura o la poesia, posem per cas, amb les matemàtiques. Neix, llavors, la mètrica del paisatge.

“Territori” i “paisatge” passen a ser conceptes correlatius: el territori, un sistema; el paisatge, un algoritme (Folch, 2003). Coneixement construït sobre una matriu biofísica, i els processos que tenen lloc en aquesta matriu, sense la qual estariem parlant senzillament d’un món virtual, imaginari: les matemàtiques poden descriure formalment infinits universos, però nosaltres, en principi, només vivim en un. No obstant això, tot allò a què pot aspirar una aproximació matemàtica que pretengui descriure un sistema tan complex i multidimensional com ho és la matriu territorial, no deixa de ser l’equivalent a una humil representació pictòrica, traçada a grans traços. Però si l’elecció de la mètrica és adient, llavors pot aconseguir un efecte similar al d’una bona pintura impressionista: transmetre a l’observador una imatge sintètica, creïble, suggerent.

En l’actualitat, hi ha un important corrent de pensament, amb pocs exemples pràctics, per canviar la relació tendencial entre creixement urbànic i matriu biofísica, que es fonamenta en el coneixement i la prudència. Aquest model proposa una estructura en xarxa de ciutats intermèdies, compactes i diverses, articulades amb un mosaic agroforestal coherent, mitjançant un procés quasi fractal que eviti la conurbació dispersa. Es tracta d’actuar lleument en el territori, sense prepotència. D’acord amb l’urbanista Ruben Pesci, resulta extremadament difícil pretendre governar la incertesa de la complexitat, per això proposa “adaptar-se a navegar amb levitat, com amb les tècniques que s’utilitzen en un veler” (Pesci, 2000). Per aconseguir-ho, segurament, es necessiten “noves audàcies cap a una nova llibertat”.

Referències bibliogràfiques

ACEBILLO, Josep; FOLCH, Ramon (dir.) (2000). *Atlas Ambiental de l'àrea de Barcelona. Balanç de recursos i problemes*. Barcelona: Barcelona Regional, Ariel Ciència.

AGNOLETTI, Mauro (ed.). (2002). *Il paesaggio agro-forestale toscano. Strumenti per l'analisi, la gestione e la conservazione*. Florència: Arsia.

ANDREARSEN, James; O'NEILL, Robert; NOSS, Reed; SLOSSER, Nicholas (2001). “Considerations for a terrestrial index of ecological integrity”, *Ecological Indicators*, vol. 1, p. 21-35.

BEIER, Paul; NOSS, Reed (1998). “Do habitat corridors provide connectivity?”, *Conservation Biology*, vol. 12, núm. 6, p. 1241-1252.

- CHETKIEWICZ, Cheryl-Lesley; CLAIR, Colleen Cassady St.; BOYCE, Mark (2006). "Corridors for conservation: integrating pattern and process", *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 37, p. 317-342.
- CONSTANZA, Robert, *et al.* (1997). "The value of the world's ecosystem services and natural capital", *Nature*, vol. 387, núm. 15, p. 253-260.
- CUSSÓ, Xavier; GARRABOU, Ramon; TELLO, Enric (2006). "Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-70: flows, energy balance and land use", *Ecological Economics*, vol. 58, p. 49-65.
- FAHRIG, Lenore (2003). "Effects of habitat fragmentation on biodiversity", *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 34, p. 487-515.
- FISCHER, Joern; LINDENMAYER, David B. (2006). "Beyond fragmentation: the continuum model for fauna research and conservation in human-modified landscapes", *Oikos*, vol. 112, p. 473-480.
- (2007). "Landscape modification and habitat fragmentation: a syntesis", *Global Ecology and Biogeography*, vol. 16, p. 265-280.
- FOLCH, Ramon (ed.). (2003). *El territorio como sistema. Conceptos y herramientas de ordenación*. Barcelona: Diputació de Barcelona.
- (2004). *La planificació metropolitana concurrent*. Barcelona: Pla Estratègic Metropolità de Barcelona. (Prospectiva; 3).
- FORMAN, Richard T.; GODRON, Michael (1986). *Landscape Ecology*. Nova York: John Wiley & Sons.
- FORMAN, Richard T. (1995). "Some general principles of landscape and regional ecology", *Landscape Ecology*, vol. 10, p. 133-142.
- (2004). *Mosaico territorial para la región de Barcelona*. Barcelona: Barcelona Regional; Editorial Gustavo Gili.
- GLADYSHEV, Georgi P. (1999). "On thermodynamics, entropy and evolution of biological systems: What is life from a physical chemists's viewpoint", *Entropy*, vol. 1, p. 9-20.
- GONZÁLEZ Bernáldez, Fernando (1981). *Ecología y paisaje*. Madrid: Editorial Blume.
- HO, Mae-Wan; ULANOWICZ, Robert (2005). "Sustainable systems as organisms?", *BioSystems*, vol. 82, p. 39-51.
- LI, Harbin; WU, Jianguo (2004). "Use and misuse of landscape indices", *Landscape Ecology*, vol. 19, p. 389-399.
- MALLARACH, Josep Maria; MARULL, Joan (2006). "Impact assessment of ecological connectivity at the regional level: recent developments in the Barcelona Metropolitan Area", *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 24, p. 127-137.
- MALLARACH, Josep Maria; MARULL, Joan; PINO, Joan (2008). "Aportacions de l'índex de connectivitat ecològica a la planificació territorial i l'avaluació ambiental estratègica, en el context de les recerques i les polítiques de connectivitat ecològica a Catalunya", *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, núm. 51, p. 113-128.
- MARGALEF, Ramon (1977). *Ecología*. Barcelona: Editorial Omega.
- (1991). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona.
- MARULL, Joan; *et al.* (2004). "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*, vol. 72, p. 115-138.
- MARULL, Joan (2005). "Metodologías paramétricas para la evaluación ambiental estratègica", *Ecosistemas*, vol. 14, p. 2.
- MARULL, Joan; MALLARACH, Josep Maria (2005). "A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area", *Landscape and Urban Planning*, vol. 71, p. 243-262.
- MARULL, Joan; PINO, Joan; TELLO, Enric; MALLARACH, Josep Maria (2006). "Análisis estructural y funcional de la transformación del paisaje agrario en el Vallès durante los últimos 150 años (1853-2004): relaciones con el uso sostenible del territorio". *Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, vol. 25, p. 105-126.
- MARULL, Joan; PINO, Joan; MALLARACH, Josep Maria; CORDOBILLA, Maria José (2007). "A land suitability index for strategic environmental assessment in metropolitan areas", *Landscape and Urban Planning*, vol. 81, p. 200-212.
- MARULL, Joan; TELLO, Enric; PINO, Joan; MALLARACH, Josep Maria (2008). "El tratamiento del territorio como sistema. Criterios ecológicos y metodologías paramétricas de análisis", *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, núm. 157, p. 439-453.

- MATSUNO, Koichiro (1978). "Evolution of dissipative system: a theoretical basis of Margalef's principle on ecosystem", *Journal of Theoretical Biology*, vol. 70, núm. 1, p. 23-31.
- MAY, R.M. (1989). *Ecological concepts*. Oxford: Blackwell.
- MCGARIGAL, Kevin; CUSHMAN, Sam; STAFFORD, Susan (2000). *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. Nova York: Springer-Verlag.
- MCHARG, Ian (2000). *Proyectar con la naturaleza*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. [Edició original de 1969].
- MOROWITZ, Harold J. (2002). *The emergence of everything: how the world became complex*. Oxford: Oxford University Press.
- NAVEH, Zev; LIEBERMAN, Arthur S. (1984). *Landscape ecology: theory and application*. Nova York: Springer-Verlag.
- OPDAM, Paul; FOPPEN, Ruud; VOS, Claire (2001). "Bridging the gap between ecology and spatial planning in landscape ecology", *Landscape Ecology*, vol. 16, p. 767-779.
- PESCI, Rubén (1999). *La ciudad de la urbanidad*. La Plata: Fundación Centro de Estudios de Proyección Ambiental.
- (2000). *Del Titanic al velero*. La Plata: Editorial Ambiente; Fundación Centro de Estudios de Proyección Ambiental.
- PINO, Joan; RODÀ, Ferran (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*, vol. 67, p. 5-20.
- PRIGOGINE, Ilya (1997). *The end of certainty: time, chaos and the new laws of nature*. Nova York: Free Press.
- REES, William; WACKERNAGEL, Mathis (1996). *Our ecological footprint*. Gabriola: New Society Publishers.
- RUEDA, Salvador (1995). *Ecologia urbana. Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents*. Barcelona: Editorial Beta.
- (2002). *Barcelona, ciutat mediterrània, compacta i complexa. Una visió de futur més sostenible*. Barcelona: Agència Local d'Ecologia Urbana de Barcelona.
- SANTOS, Katherine C.; *et al.* (2008). "Beyond the reserves: The role of non-protected rural areas for avifauna conservation in the area of Barcelona (NE of Spain)", *Landscape and Urban Planning*, vol. 84, núm. 2, p. 140-151.
- SCHRÖDINGER, Erwin (2001). *Qué es la vida?*. Barcelona: Tusquets. [Títol original *What is life?* de 1944]
- STEINER, Frederick; MCSHERRY, Laurel; COHEN, Jill (2000). "Land Suitability Analysis for the Upper Gila River Watershed", *Landscape and Urban Planning*, vol. 50, núm. 4, p. 199-214.
- STOMS, David; McDONALD, Jennifer M.; DAVIS, Frank W. (2002). "Fuzzy Assessment of Land Suitability for Scientific Research Reserves", *Environmental Management*, vol. 29, núm. 4, p. 545-558.
- TELLO, Enric; MARULL, Joan; PINO, Joan (2008). "A landscape ecology analysis of the land-use changes in the West Mediterranean agriculture during the last 150 years: the Catalan Vallès county (1853-2004)", *Global Environment. Journal of History and Natural and Social Sciences*, núm. 2, p. 112-140.
- TERRADAS, Jaume (2001). *Ecologia urbana*. Barcelona: Editorial Rubes.
- TURNER, Monica G. (2005). "Landscape ecology: what is the state of the science?", *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 36, p. 319-344.
- ULANOWICZ, Robert E. (2003). "Some steps towards a central theory of ecosystem dynamics", *Computational Biology and Chemistry*, vol. 27, p. 523-530.
- WAGENSBERG, Jorge (1985). *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona: Editorial Tusquets.
- WU, Jianguo; HOBBS, Richard (2002). "Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis", *Landscape Ecology*, vol. 17, núm. 4, p. 355-365.