

MODELITZACIÓ DE L'ACCESSIBILITAT DELS ESPAIS FORESTALS DEL PAISATGE A LA PLANA DEL VALLÈS

Domènec Aran

Departament de Geografia
Edifici B Campus Universitat Autònoma de Barcelona
Bellaterra 08193
Tel.: (34-3) 581 15 15
Fax: (34-3) 581 20 01
E-mail: ilgearan@cc.uab.es

RESUM

Amb la modelització de la configuració i interacció dels elements interns de paisatges metropolitans, com la Plana del Vallès (amb un elevat grau de fragmentació dels espais naturals i un procés de creixement del sòl urbanitzat elevat), es cerca, mitjançant els elements d'anàlisi espacial incorporats en Sistemes d'Informació Geogràfica (SIGs), una caracterització de les potencialitats per la definició de connexions entre els espais naturals, considerats globalment com a espais dins una xarxa interconnectada al paisatge. La modelització es realitza en base a l'índex d'accessibilitat, que es considera una representació simple de l'atracció potencial d'aquests espais. Es realitza en una aplicació de la fórmula en què es considera com a massa la superfície dels espais. L'altra variable present és la distància entre punts. Per la seva modelització en un camp continu de dades interpolades, es poden afegir les constriccions al moviment (barreres) que es considerin oportunes, així com les tipologies de desplaçament característiques de les diferents espècies faunístiques, considerades d'interès per a la modelització.

Paraules clau: Accessibilitat, Anàlisi Espacial, Ecologia del Paisatge, Plana del Vallès, Sistemes d'Informació Geogràfica.

Introducció

La necessitat de protecció dels espais naturals afectats pels impactes i les activitats humanes, amb la consegüent pèrdua d'espècies i hàbitats dels espais, ha portat a la necessària gestió per a la conservació de la biodiversitat. Gestionar l'espai i els recursos de forma global per tal d'intentar mantenir els processos ecològics s'ha convertit en una prioritat (UICN, PNUMA, WWF 1992). Per a dur a terme aquesta tasca cal, però, un nou marc de treball que permeti la comprensió i l'anàlisi, a una escala suficientment rellevant, dels processos ecològics que tenen lloc sobre el territori. Aquest marc de treball és el paisatge (Forman & Godron 1986, Noss and Copperrider 1986).

Tradicionalment en Geografia s'ha treballat amb grafs per representar xarxes dels fenòmens espacials i la seva distribució al territori. La geografia del transport per

exemple ha treballat amb els conceptes de xarxes i n'ha fet un ús ampli en els seus estudis. Igualment, en estudis de localització realitzats mitjançant anàlisi de xarxes, la geografia 'quantitativa' ha desenvolupat un cos teòric aplicat a la resolució dels problemes de localització, usualment en representacions gràfiques de xarxes (Linehan et al. 1995).

L'accessibilitat, definida com el potencial de 'població' de les localitzacions, és un índex de la interacció potencial d'una localització respecte la resta de localitzacions considerades conjuntament, per un fenomen espacial donat que volem caracteritzar al territori. Com a mesura d'interacció espacial entre localitzacions, l'accessibilitat ha estat usualment emprada en forma d'índexs complexos per la modelització, intentant recrear les pautes de distribució resultants dels canvis econòmics al territori. Seria el cas per exemple de la determinació dels nous 'beneficis d'accessibilitat' per les localitzacions, després de noves actuacions urbanístiques. Aquests beneficis potencials es donen amb els canvis en la localització de les activitats, per exemple en l'extensió del transport públic en el marc territorial ampli d'un sistema urbà o regió (Williams & Senior 1978).

En el present cas en canvi, s'utilitza l'índex per estudiar, de forma senzilla però aplicada al territori, quina és la interacció potencial entre espais forestals en el mosaic del paisatge. Aquesta mesura ens pot ser d'utilitat en la caracterització dels potencials d'atracció de les localitzacions. Per extrapolació en un mapa continu de dades, es poden modelitzar posteriorment aquesta atracció entre espais pel supòsit dels desplaçaments de la fauna al territori. Igualment podem recrear una possible xarxa de connexions òptimes, per modelització de les dades.

L'interès de considerar la totalitat dels espais forestals en el paisatge i la seva interrelació es reclama des dels postulats de l'Ecologia del Paisatge, la disciplina que ha establert el cos teòric en què es basteix una aproximació funcional per a l'estudi dels espais naturals i urbanitzats, de forma conjunta al mosaic del territori (el paisatge en conjunt). L'ecologia del paisatge s'aproxima a l'estudi del medi ambient des de posicionaments sovint clarament espacials, de distribucions dels diversos ecosistemes en mosaics del territori (paisatges heterogenis; Forman & Godron 1986, Forman 1995a, Forman 1995b).

Els mosaics heterogenis del paisatge

Aquesta nova disciplina de l'ecologia del paisatge, que podem emmarcar en els mateixos interessos de la biologia de la conservació quant als enunciats dels seus objectius (conservació de la diversitat i hàbitats en paisatges heterogenis canviants - Noss & Cooperrider 1994), ha desenvolupat un model de descripció del paisatge o *taxonomia ecològica espacial* (Forman & Godron 1986), on es considera que el paisatge únic és format per un mosaic de tres elements bàsics: tessel·les o clapes (*patches*), corredors (*corridors*) i la matriu subjacent (*matrix*). Aquests tres elements estan integrats per ecòtops, que es defineixen funcionalment en el paisatge com a espais on es dona una sèrie de fluxos horitzontals entre ells (de materials, energia, organismes, etc.), i també verticals (energia o matèria).

Dins d'aquesta tipologia es pot discernir entre els espais disposats al fons del mosaic (tessel·les i corredors) que són espais naturals, i els que actuen com a barreres o límits a la connectivitat entre els anteriors (espais urbans i infraestructures viàries pe.). La connectivitat ve configurada per les característiques de l'espai de fons (matriu del paisatge). De cara a establir unes connexions entre espais naturals aïllats per les activitats antròpiques (cas de la Plana del Vallès, Diego et al. 1994 –no publicat), és factible escollir els espais forestals com a elements naturals d'interès (ecòtops) a connectar dins el mosaic del paisatge, com a elements d'una possible xarxa de connexions entre els espais naturals majors.

El paisatge com a ecosistema es concebeix primerament com una entitat funcional, caracteritzada per la repetició reconeixible i quantificable d'unes pautes de distribució dels seus elements interns (*elements del paisatge*). Propietats físiques com ara la mida, la forma i la distribució espacial dels elements són el resultat d'uns processos funcionals que tenen lloc a nivell de paisatge i que alhora els condicionen.

Els possibles instruments per a mesurar els paràmetres del paisatge són, per Harrison & Fahrig (1995):

- La quantitat d'hàbitat al paisatge
- La mida mitjana de les clapes d'hàbitat
- La distància mitja entre clapes
- La diferència en la mida de les clapes
- La diferència en les distàncies entre clapes

- La connectivitat del paisatge.

Quant a les mesures usuals de la *connectivitat* al paisatge (el paràmetre al qual l'índex d'accessibilitat pot fer una aportació interessant), existeixen des de mesures simples de connexió entre els espais naturals (presència-absència) fins a models de connectivitat que consideren la pròpia distribució heterogènia dels espais naturals, en relació a un model de distribució 'neutral' o aleatori (Sklar, F.; Constanza, R 1991). Com són les derivacions de l'estudi de les possibilitats de connectivitat entre espais 'aptos' pel desplaçament d'una determinada espècie dins el mosaic del paisatge, en moviments aleatoris modelitzats mitjançant el 'filtratge' del seu moviment per les tessel·les 'desfavorables' del mosaic (*percolation theory*; Stauffer 1985, Gardner et al. 1987).

L'accessibilitat del mosaic

L'accessibilitat és una mesura emprada en els models d'anàlisi espacial per tal d'establir un potencial d'atracció entre diferents punts o polígons, en base al seu pes relatiu (demanda-oferta) i la distància del seu punt o centroides respecte cadascun dels altres punts. Juntament amb els índexs dels models de gravetat, aquesta mesura s'empra en la modelització de la interacció i fluxos potencials entre localitzacions o nodes d'una xarxa (Haggett et al 1977; Fotheringham & O'Kelly 1989) o una superfície contínua de dades (Warntz 1973, Hagget and Chorley 1972).

Aquest índex es planteja com una mesura de l'atracció dels diferents espais forestals en el mosaic del paisatge. Es calcula l'índex d'atracció (per les àrees) d'aquests espais, en base a la distància entre cadascun d'ells. Aquesta mesura de l'accessibilitat per a cada espai forestal s'incorpora com una variable espacial més del paisatge en una anàlisi de les capacitats del territori.

Es pot desenvolupar una aplicació per tal d'extrapolar, tenint en conte el territori 'neutre' de la matriu del paisatge –i les constriccions al desplaçament imposades per les barreres, com ara l'espai urbà i les infraestructures viàries-, un mapa de l'accessibilitat dels elements forestals en clapes al paisatge. L'aplicació es desenvolupa en ARC/INFO, per raons de simple disponibilitat: es tracta d'un dels SIGs de major difusió acadèmica i institucional, i incorpora algunes funcions d'anàlisi espacial per xarxes. En el present

cas a més, la integració de dades raster i vectorial és un factor instrumental en el desenvolupament de l'aplicació.

Desenvolupament de l'aplicació en SIGs

Amb les comandes d'ARC/INFO 'accessibility' es crea un mapa de l'accessibilitat dels punts o polígons dels espais forestals en el paisatge. Aquesta mesura relativa fa referència a la comparació de les localitzacions forestals en base a la seva superfície i distància. Es un mapa de dades, on podem traçar els contorns de gradients entre elles, i permet una apreciació visual primària de la connectivitat general del territori estudiat.

$$P_i^n = \sum_{j=1}^n w_j d_{ij}^{-b}$$

La fórmula matemàtica:

Amb:

- P_i l'accessibilitat al punt i
- w_j l'atracció o massa de la localització j
- d_{ij} la distància entre les localitzacions i - j
- b l'exponent per a la disminució de la distància
- n el nombre de localitzacions de la regió.

Aquesta fórmula (tipus Pareto) està sovint aplicada en el cas de la funció de poder, escollida perquè dona un major potencial d'interacció amb les localitzacions més properes, ja que l'alternativa de la funció exponencial s'empra en àrees generalment reduïdes (ciutats). L'exponent b s'estableix en base al fenomen observat i el grau de mobilitat que se li atorga en la modelització. Normalment s'estableixen valors entre (-0.4) i (-3.3) per aquest exponent, amb menor potencial pel moviment i la interacció quant major és aquest (Hagget et al. 1977). El fet que el càlcul de l'accessibilitat comenci amb la consideració de l'atracció entre localitzacions i que w pot ser substituït per la *superfície* de cadascun dels polígons del mosaic, ens permet una definició per a la modelització coincident amb les tesis de la biologia de la conservació, quant al fet que l'àrea dels espais naturals és la característica més important a nivell funcional dels espais naturals, relacionada directament amb la diversitat d'espècies presents (Noss and



Cooperrider 1994; Forman 1995b). De fet, aquest índex d'accessibilitat (potencial de població) té en conte els components del paisatge de forma important (taula1).

Components principals de la topologia espacial del paisatge	Presència en el càlcul de l'índex de l'accessibilitat	Components presents en l'equació de l'accessibilitat
La quantitat d'hàbitat al paisatge	SI	Quantitat total d'àrea (Σw_j) per establir els pesos de l'accessibilitat al mosaic
La superfície mitjana de les tessel·les (<i>patches</i>)	NO	-Descriptius generals (estadístic)-
La distància mitjana entre les tessel·les (<i>patches</i>)	NO	-Descriptius generals (estadístic)-
La diferència en el tamany de les tessel·les (<i>patches</i>)	SI	Pes de l'àrea de cada polígon respecte a la quantitat total dels polígons
La diferència en les distàncies entre tessel·les (<i>patches</i>)	SI	Distància en l'accessibilitat de cada polígon en relació al mosaic
La connectivitat del paisatge	NO	-Apareix com el resultat conjunt de l'accessibilitat de cada polígon, a modelitzar-

Taula 1. Comparació dels components principals de la topologia espacial del paisatge (Harrison et al. 1995) i la formulació de l'índex d'accessibilitat.

Aquest índex per tant és una de les mesures útils per caracteritzar la topologia espacial dels paisatges i la connectivitat. La seva utilització pot anar des de modelitzacions en anàlisi multivariant, on calgui discernir les característiques subjacents d'un territori, fins a la modelització dels espais de connexió dins el mosaic del paisatge.

La modelització de l'accessibilitat per a la recerca de connexions entre espais forestals

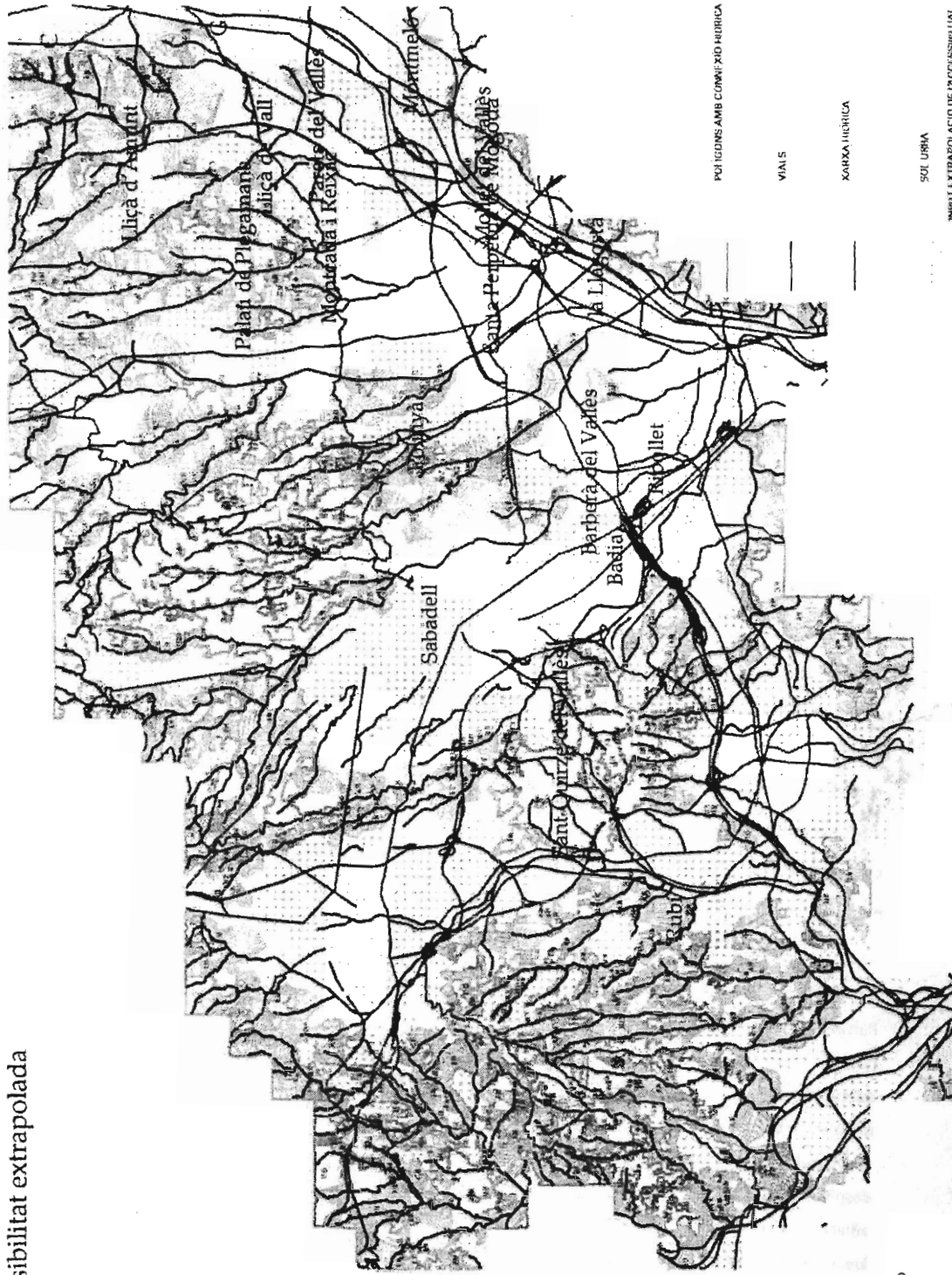
Amb aquest tipus de modelització (Aran 1997), es crea per extrapolació al territori 'neutre' de la matriu del paisatge (mitjançant la 'topologia' obtinguda per triangulació irregular de xarxes -TIN), un mapa de costs al desplaçament ponderats per l'accessibilitat dels espais forestals. La modelització de les dades en forma de camp continu és una forma de reproducció usual de les dades amb component espacial que permet exemplificar els efectes de la distància i situació relativa de les variables dels fenòmens geogràfics analitzats (Haggett et al 1977). En aquest exemple (fig.1), es parteix dels espais forestals ja connectats per la xarxa hidrològica (considerats de major interès -Binford & Bucheneau 1993) i als quals és interessant connectar la resta

d'espais forestals; posteriorment es fa el mateix entre tots els espais forestals. Afegint les barreres a la connectivitat entre els espais (infraestructures de comunicació rellevants -ja ponderades en la seva càrrega-; sòl urbanitzat), podem incorporar als Sistemes d'Informació Geogràfica els diferents mapes de dades (*covers*) amb les comandes per a l'extrapolació i anàlisi incloses en aquests (en el cas d'ARC/INFO, comandes de CREATETIN).

Amb les comandes *COSTPATH* i *PATHDISTANCE* (per exemple amb les opcions d'agrupació *BYZONE* dins ARC/INFO), podem obtenir fins i tot un mapa de la xarxa menys costosa al desplaçament entre els espais forestals, modelitzable segons els supòsits (espècies faunístiques pe.). Podem finalment trobar la ruta òptima entre dos espais forestals, a través del mosaic del paisatge, de menor cost al desplaçament. Es pot igualment establir una impedància als creuaments de les xarxes hídrica i viària, per tenir una representació acurada dels possibles pesos dels passos de la fauna; i es pot també ponderar els arcs de la xarxa amb criteris que s'afegeixen als de la distància, com ara la seva 'naturalitat'.

La diferència bàsica respecte els models usuals de xarxes espacials radica en la seva aproximació: amb la modelització per la interpolació de les dades d'accessibilitat en un camp continu, es pot definir una possible xarxa estimada 'completa' de les connexions entre localitzacions. No es parteix de la modelització en xarxes per tal de caracteritzar els fluxos estimats linealment, entre localitzacions de forma bidimensional en una xarxa, sinó que mitjançant la recreació d'un camp continu de dades, es caracteritza **tot** l'espai del paisatge en tres dimensions, on es fa intervenir a més dels costos al desplaçament estimats per l'accessibilitat, la mateixa topografia i les barreres a la connexió real. El resultat de la definició de la xarxa no és doncs una xarxa teòrica, sinó una xarxa real de connexions estimades que aconsegueixen les constriccions imposades per la modelització, abans o després de la caracterització com a xarxa. Això és especialment útil en el cas de la modelització per definir la xarxa de connexions existent, i determinar les connexions òptimes i les alternatives possibles existents, amb una ponderació ja establerta dels costos al desplaçament pel territori en tres dimensions. Posteriorment, es poden trobar igualment les rutes òptimes dins la xarxa, pel cas del desplaçament intern de fauna per exemple.

Accessibilitat extrapolada



Mapa 1. Accessibilitat interpolada al mosaic del paisatge

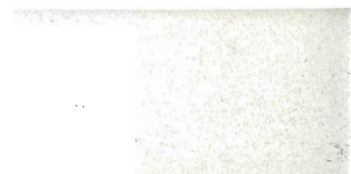
Aquest tipus de modelització conjunta dels costos (distància i barreres) i la topografia, es pot realitzar amb les actuals eines per a l'anàlisi espacial incorporats als Sistemes d'Informació Geogràfica. Per bé que les eines per a l'anàlisi espacial usualment no estan prou desenvolupades (O'Kelly 1994), es pot realitzar avui dia una aproximació com la presentada, de forma adient. Entre les utilitats d'aquesta modelització en Sistemes d'Informació geogràfica (que parteix de la mesura de l'índex d'accessibilitat entre espais forestals), per crear una xarxa òptima i real de connexions al paisatge, té els avantatges per exemple que es pot:

- Crear polígons d'exclusió (afectats per catàstrofes naturals pe.);
- Incorporar informacions diverses dels usos del sòl que poden afectar la xarxa (planejament);
- Incorporar les dades autecològiques que configuren els desplaçaments diaris o estacionals de la fauna a la xarxa i al territori;
- Ràpida redefinició de la xarxa en cas d'incorporació de modificacions (per alteracions, etc.);
- Possibilitat de cercar les rutes alternatives de mínim cost al desplaçament en el cas d'alteracions a la xarxa, de forma automàtica.

Totes aquestes capacitats usuals dels SIGs, quant a selecció d'àrees i àlgebra relacional, fan que la modelització presentada es pugui beneficiar de la gran maniobrabilitat pel tractament de les dades georeferenciades, que es modelitzen en tres dimensions. Això beneficia aquest tipus d'aplicacions, fent-les força interessants pel planejament i la gestió integrada del territori al nivell del mosaic del paisatge i la regió. Donada a més la seva universalitat en l'aplicació i la determinació d'alternatives reals de definició de la xarxa de forma automàtica, cal considerar la via de l'anàlisi espacial i la modelització en SIGs especialment adequada pel nivell del paisatge.

Conclusions

Partint dels postulats de l'ecologia del paisatge sobre la configuració espacial dels elements interns del paisatge, és factible adoptar una aproximació en anàlisi espacial per a l'estudi de la potencialitat per a la interacció entre hàbitats o elements del paisatge. Això es fa en base a l'atracció de les seves superfícies relatives i la distància, per tal de generar un mapa en tres dimensions modelitzable dels costos al desplaçament dins el mosaic. Seleccionant els hàbitats forestals per exemple, es pot modelitzar els costos al desplaçament entre aquests espais. Considerats com a hàbitats naturals reductuals, sovint segmentats o aïllats en zones altament urbanitzades, i requerits d'actuacions que afavoreixin la seva interconnexió en àrees metropolitanes, són els elements bàsics per a la possible definició de xarxes de connectors al paisatge.



L'índex d'accessibilitat o potencial de població, en una utilització que parteix de la consideració de l'àrea com a variable de massa dins l'equació, aporta en primer lloc una quantificació simple de les potencialitats d'atracció entre els espais a la matriu del paisatge. Ho fa en base a la seva superfície i distància relativa dins el mosaic del paisatge, coincidint amb els criteris àmpliament acceptats de la biologia de la conservació: la importància de la superfície en la determinació del nombre d'espècies presents als espais naturals (Noss and Cooperrider 1994; Forman 1995b). En segon lloc, permet iniciar processos de cara a la modelització espacial, com en el cas de la definició d'una xarxa òptima pel desplaçament real al territori (tenint en compte el *Model Digital d'Elevacions*), anant més enllà les formulacions dels sistemes conceptuals de connexions desenvolupades per la teoria de grafs (amb la determinació simple per models de grafs dels costos de creació dels diferents arcs entre nodes, pe.), tot evitant la linealitat dels models de xarxes espacials, mitjançant la definició de camps continus de dades, aplicades sobre el conjunt del territori en tres dimensions. La xarxa resultant és igualment caracteritzable pels índexs de la teoria de grafs, si bé es tracta d'una xarxa ja definida topogràficament i amb els costos al desplaçament interioritzats. Això permet la seva configuració real sobre el territori de forma directa.

La utilització de l'índex d'accessibilitat o potencial de població, en un mapa continu sobre el territori analitzat -conjuntament amb la topografia-, permet aquesta aproximació. Igualment, la integració d'aquest tipus d'índexs per la modelització espacial dins l'actual software propi dels Sistemes d'Informació Geogràfica més populars, permet utilitzar el seguit de funcions analítiques, d'integració i tractament de dades georeferenciades, mapificació, etc., propis d'aquests sistemes. Això permet aplicar aquesta modelització espacial sobre el mosaic del paisatge i el territori, ponderada de forma específica per a cada cas concret, com una eina per l'anàlisi i planificació del territori.

Referències

- Aran, D. (1997) 'An application in geographic information systems for the design of natural connections', in Machado, J. and Ahern, J. (eds) Environmental Challenges in an expanding urban world: the role of emerging Information Technologies CNIG, Lisbon (pp.27-35)
- Binford, M.W.; Bucheneau, M.J. (1993) 'Riparian Greenways and water resources', in Smith, D.; Hellmund, P.C.; (eds.) Ecology of Greenways Springer-Verlag, N.Y. (pp.69-104)
- Diego, F.; Martin, J.; Ribas, J.(1994) Connexions biològiques dels espais d'interès natural del Vallès. Criteris de conservació. Sabadell, ADENC-Departament de Medi Ambient (no publicat).
- Forman, R.T.T. (1995a) 'Some general principles of landscape and regional ecology', Landscape Ecology vol.10 n°3 (pp.133-142)
- Forman, R.T.T. (1995b) Land mosaics. Cambridge, Cambridge University Press.
- Forman, R.T.T. & Godron, M. (1986) Landscape ecology New York, Wiley.
- Fotheringham, A.S. & O'Kelly, M.E. (1989) Spatial interaction models: formulations and applications Dordrecht, Kluwer Ac. Pub. (224 pp.)
- Gardner, R.H.; Milne, B.T.; Turner, M.G.; O'Neill, R.V. (1987) 'Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern'. Landscape Ecology 1 (pp.19-28)
- Haggett, P. ; Chorley, R.J. (1972) Network analysis in geography Edward Arnold, London (348 pp.)
- Haggett, P.; Cliff, A.; Firey, A. (1977) Locational analysis in Human Geography. Wiley, New York.
- Harrison, S.; Fahrig, L. (1995) 'Landscape pattern and population conservation', in Hanson, L.; Fahrig, L.; Merriam, G. (eds) Mosaic landscapes and ecological processes Chapman Hall, London (pp.293-308)
- Linehan, J.; Gross, M.; Finn, J. (1995) 'Greenway Planning: developing a landscape ecological network approach', in Landscape and Urban Planning, Special n33-Greenways:A review (pp.179-193)
- Noss, R.F.; Cooperrider, A.Y. (1994) Saving nature's legacy. Washington, Island Press.
- O'Kelly, M.E. (1994) 'Spatial analysis and GIS', in Fotheringham, S.; Rogerson, P. (eds) Spatial analysis and GIS London, Taylor&Francis (pp.247-260).
- Sklar, F.; Constanza, R. (1991) 'The development of dynamic spatial models for Landscape Ecology:a review and prognosis', in Turner, M; Gardner, R. (eds) Quantitative methods in Landscape Ecology. Springer-Verlag, New York (pp.239-287).
- Stauffer, D. (1985) Introduction to percolation theory. Taylor&Francis, London.
- UICN, PNUMA, WWF(1992) Cuidem la Terra. Una estratègia per viure de manera sostenible. Barcelona, Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya
- Warntz, W. (1973) 'New geography as general spatial systems theory: Old social physics writ large?', in Chorley, R.J. (ed) Directions in Geography Methuen, London.
- Williams, H.; Senior, M. (1978) 'Accessibility, spatial interaction and the spatial benefit analysis of land use – transportation plans', in Karlqvist, A.; Lundqvist, L.; Snickars, F.; Weibull, J. (eds) Spatial interaction theory and planning models. Nort-Holland, Amsterdam (pp.253-287).