

ECOLOGIA URBANA

Jordi Flos

Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

L'ecologia i l'home

L'ecologia com a disciplina científica i acadèmica amb una certa entitat, té uns cent anys. En aquest temps, els ecòlegs han mostrat poc interès per estudiar l'ecologia urbana (p.e. Botkin i Beveridge, 1997). De fet, el que hi ha hagut és una mena d'auto-censura, no ja de dedicar-se a l'ecologia urbana, sinó a incloure amb normalitat els humans dins dels estudis ecològics. Aquesta prevenció era menor com més exòtics i minoritaris fossin els humans, però llavors eren objecte d'estudi dels antropòlegs culturals, etnòlegs, geògrafs, lingüistes o arqueòlegs. Des del punt de vista biològic, de l'home, sobretot com a individu, se n'han ocupat tradicionalment metges i apotecaris, i un cop morts (o fòssils) els antropòlegs i paleontòlegs. Quant a totes les altres coses, l'estudi de l'home l'han fet "els humanistes", o més recentment, els que es dediquen a les "ciències socials".

A casa nostra ja fa molts anys que en Margalef havia inclòs l'home, la seva manera d'actuar, i els efectes del fenomen urbà, dins d'un mateix esquema conceptual de l'ecologia general (Margalef, 1974). Els elements bàsics per a comprendre el paper dels humans són: 1) l'ús de l'energia externa, exosomàtica, i 2) el processament de la informació. El primer aspecte ens porta a comprendre l'acceleració de processos, en particular del transport, i el segon ens duu a la cultura, al coneixement científic i tècnic, que fa que manipulem la matèria i l'energia fins a magnituds i maneres que mai cap organisme havia fet abans. Quan els dos aspectes es creuen, apareix tota la fenomenologia més característica del fenomen humà i de retruc de l'urbà. Energia exosomàtica, transport, manipulació química, són conceptes que formen part del discurs de l'ecologia general, però posats en mans de l'home, l'energia exosomàtica es fa veritablement potent (Fig. 1), i la química es pot fer fora dels organismes, i per tant, els rius es poden desviar, les muntanyes es poden

canviar de lloc, i els plàstics, els plaguicides i una colla de metalls diversos, es poden convertir en els marcadors estratigràfics per excel·lència d'aquesta època nostra dins la història de la biosfera.

La societat ha acceptat malament, almenys fins fa poc, que es tracti l'home com un animal més i que s'analitzi la fenomenologia humana, i urbana en particular, com a processos susceptibles d'una anàlisi ecològica, ja sigui reduccionista o sistèmica. En tenim una prova precisament en l'estudi de públic que es va fer d'una exposició sobre Ecologia (Prats et al, 1989; Prats i Flos, 1991), el guió de la qual va fer el mateix Margalef (1985). De tots els temes que es plantejaven en l'exposició, el que menys va agradar i que menys es va comprendre va ser "Un actor important: l'home". Sense entrar en detalls, crec que el problema de fons no va ser ni la manera de presentar el tema (que potser era poc espectacular o atractiu en relació amb alguns altres), ni l'excés de complexitat de l'àmbit, sinó que existia entre el públic una mena de dissociació mental entre "home" i "natura-ecologia", que feia molt difícil de combinar, comprendre i acceptar els esquemes senzills en els quals es mostrava els problemes del transport, del retorn de deixalles, de l'ús de l'energia externa, de les disfuncions que això produïa, o dels càlculs i previsió de qüestions de població que tenia, i tindria en el futur, la humanitat. A tall d'anècdota, però no per això menys significativa, la direcció del museu on es va presentar l'exposició per primer cop, va rebre una carta de protesta d'un capellà que considerava pràcticament immoral tractar el tema de l'home d'aquella manera. Crec que això ha canviat força en els darrers 10 anys, precisament per l'esforç que molta gent ha fet per anar divulgant i fent comprendre el paper de l'home dins de la biosfera. De retruc però, la paraula ecologia ha anat canviant de significat en l'entorn més popular, i diríem que té ara moltes accepcions. El diccionari normatiu haurà de mirar-s'hi una mica en les properes edicions.



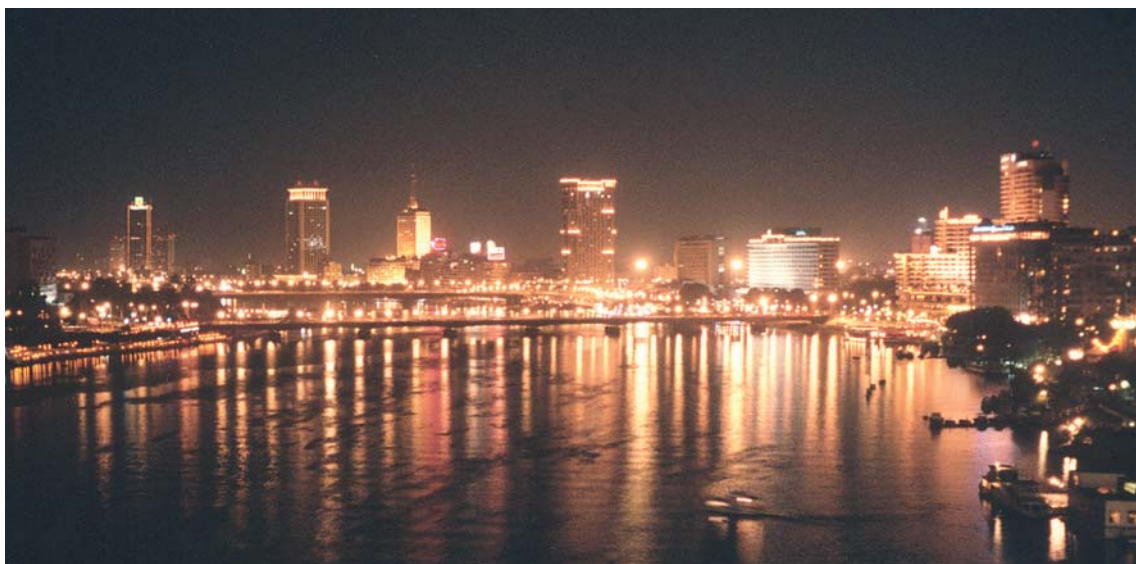


Figura 1. El metabolisme basal d'una persona no arriba a 150 wat. En una ciutat, el consum d'energia exosomàtica per habitant pot ser 50 cops el consum endosomàtic (el centre de El Caire, any 2000) (Foto: J. Flos).

L'ecosistema urbà

L'espai urbà és aquell que està ocupat per assentaments humans, amb construccions diverses, majoritàriament habitatges, però també per a altres usos socials o productius. Hem de buscar què tenen en comú tots els sistemes urbans, des dels més petits als més grans, per a tots els continents i totes les cultures, per tal de copsar què és, genuïnament i pròpiament el sistema urbà. La presència d'humans que viuen en societat, les construccions i poca cosa més. Des del nostre punt de vista afegiríem que el sistema urbà està urbanitzat, és a dir, disposa d'infraestructures i serveis comuns, té ordenada la circulació de persones i de vehicles, l'abastament d'aigua i el clavegueram, però aquests serveis, en altres regions geogràfiques del planeta, en altres cultures, amb graus de desenvolupament humà diferents, poden manca o ser simplement això, diferents.

En tot cas, he anomenat just en el paràgraf anterior l'expressió "sistema urbà", i és aquesta qualitat sistèmica, de complexitat funcional composta de peces en interacció, i de la qualitat biològica que la genera, l'usa i la manté, el que justifica plenament parlar d'ecologia urbana, encara que aquesta s'estudiï amb diferents aproximacions i metodologies. Només caldria afegir que com que els sistemes humans han estat tradicionalment l'objecte d'estudi de disciplines molt allunyades de l'ecologia, cal fer un esforç per combinar i intercanviar coneixements entre les ciències naturals i les socials (McIntyre et al, 2000). De fet, tradicionalment han estat arquitectes, enginyers, economistes i advocats els que han tractat de manera efectiva amb els sistemes urbans i els qui han intervingut de mane-

ra més decisiva en la planificació territorial, especialment la urbana.

La paraula ecosistema és fonamental per alguns ecòlegs com Patten i Odum (1981) que la defineixen com "aquell nivell d'organització en què es dona un processament harmoniós i no caòtic de matèria i energia". Margalef (1974) afegeix que "l'ecologia és la biologia dels ecosistemes". Per contra, hi ha ecòlegs que no reconeixen cap nivell d'organització sistèmic susceptible de tenir atributs especials o emergents per sobre de, anant molt lluny, les comunitats (p.e. Begon et al, 1988). Al costat, en trobem d'altres que diuen que "l'ecologia és de comunitats o no és", fent entendre que el nivell mínim d'organització per a parlar pròpiament d'ecologia és la comunitat. Però també aquest concepte té dificultats. Finalment, diríem que en molts casos s'accepta que amb finalitat pràctica podem referir-nos a l'ecosistema com a qualsevol tros de natura que hem delimitat arbitràriament per tal d'estudiar-la. Cal evidentment tenir certa gràcia per triar-ne els límits, ja que hi hem de poder mesurar o estimar els fluxos de matèria i energia que els travessen. En aquest sentit, valen fronteres amb fluxos nuls (o molt controlables) i valen fronteres amb fluxos totalment simètrics (flux net nul), mentre que els problemes els tindrem quan els límits es corresponguin amb situacions intermèdies. Aquest és el cas precisament en molts dels sistemes urbans actuals, que cal definir, que cal limitar en l'espai, i que resulten difusos i amb ramificacions i digitacions difícils de tractar. Per contra, si el que volem és analitzar els fluxos de matèria i energia, i llur redistribució en l'espai urbà, en principi ho hauríem de tenir més fàcil, ja que a banda de l'energia solar i la pluja, que vénen del cel, la resta de fluxos acostumen a estar



controlats pels humans i per tant està comptabilitzada, o ho podria estar.

Com tota ciència madura, l'ecologia mostra una gran diversitat de punts d'interès o objectius, i de metodologies. Ara bé, hi ha dues tendències que han marcat fins ara la seva història, l'holística i la reduccionista, que tradicionalment s'han presentat com oposades. Diríem que la primera és una forma d'aproximar-se a l'estudi de la natura més fenomenològica i sistèmica, en la qual s'intenta descriure els ecosistemes de manera sintètica mitjançant variables globals, i explicar-ne l'evolució a través dels canvis en els valors, si més no relatius, d'aquestes variables. En canvi, en la segona, es parteix dels individus, les seves interaccions i llur relació immediata amb el medi, i eventualment s'intenta descobrir la dinàmica conjunta a partir d'aquests mecanismes microscòpics. Diríem que els reduccionistes són constructivistes, i no reconeixen d'entrada nivells d'organització i propietats de sistemes i subsistemes extensos. Aquesta dualitat d'aproximacions epistemològiques i de retruc metodològiques, s'estan retrobant i fusionant, a causa del desenvolupament de l'anomenada ciència de la complexitat. Físics, matemàtics i informàtics han irromput amb força en camps de recerca que fins ara els havien estat vedats per la seva extremada complexitat. Entre aquests hi ha tot el que fa referència a la biologia, inclosa l'ecologia, però en especial tot el que fa referència a l'home, des del genoma al cervell, i des del llenguatge a l'economia.

Anàlisi sistèmica

En el nostre entorn català, la ciutat de Barcelona i la seva regió metropolitana són l'exemple de fenomen urbà de més interès, per ser el més important i el més complet. Barcelona ha estat objecte d'estudis sectorials, d'anàlisis integrades, de plantejaments, i la seva història, que està força documentada, ens ofereix una perspectiva enriquidora per al coneixement de l'ecologia urbana. Sobre Barcelona hi ha un treball d'obligada referència: "Barcelona 1985-1999. Ecologia d'una ciutat" (Barracó i altres, 1999) en el qual es presenta de manera sintètica l'anàlisi de tota una sèrie de dades sobre la població, els ambients, els fluxos i les problemàtiques ambientals del període temporal considerat. Posteriorment, en un llibret molt recomenable, Terradas (2001) recull el tema, l'emmarca en una perspectiva més general i aporta reflexions i conclusions de força interès. En el treball sobre Barcelona, la majoria de les dades són típicament les que tindrien a les seves mans els demògrafs o els economistes, les empreses de serveis, el mateix Ajuntament que ha de gestionar la ciutat o la Generalitat. El que diferencia aquest llibre d'altres treballs urbans, és

la terminologia emprada (es parla de biomassa humana i d'energia endosomàtica i exosomàtica per exemple), que no és supèrflua sinó que es correspon amb la manera de tractar les dades i de fer els números (fluxos d'entrada de matèria i energia, transports interiors, transformacions, pèrdues i sortides) seguint els esquemes de funcionament ecològic, no només econòmic o social.

Com bé indica el títol, es tracta de l'ecologia de la ciutat, i per tant, en aquest cas es refereix a un sistema que queda definit pels límits del terme municipal. Els bons treballs de base, de coneixement, descripció i interpretació del funcionament del municipi, són fonamentals per a qualsevol pretensió de planejament coherent. Ara bé, a ningú se li escapa que la dinàmica de la ciutat, les seves tendències i la seva realitat funcional, està íntimament relacionada amb totes les poblacions veïnes, amb l'àrea metropolitana més extensa, que forma una massa urbana estructurada, producte d'un creixement que ha tingut estils diferents al llarg del temps. Rueda (1995), en el seu llibre d'ecologia urbana, usa com a referents Barcelona i la seva regió metropolitana. Aquesta diferent escala li permet parlar del creixement urbà en els temps recents, és a dir, "de la ciutat compacta d'en Cerdà a la ciutat difusa". Només l'últim capítol és explícitament d'ecologia urbana, i ecologia de la ciutat. Aquest llibre, que també el podem qualificar d'orientació sistèmica, mostra certes diferències respecte al d'en Terradas (2001) quant a llenguatge i usos de certs conceptes potser més abstractes, com són els de complexitat mesurada com entropia estadística, o les referències a la teoria de l'adaptabilitat de Conrad (1983) que estableix l'esquema quantitatiu, simètric, de flux d'informació entre un sistema i el seu entorn. Aquestes mesures tenen un valor descriptiu i comparatiu indubtable, però els seus valors depenen molt del conjunt sobre el qual es fan els números i s'haurien d'aplicar més en el sentit de la seva variació espacial i temporal. D'aquestes expressions en deriva també índexs guia en l'estil dels que s'acostumen a proposar en els treballs de l'Agenda-21 (Rueda, 2002), un d'ells en relació a la idea que les ciutats que funcionen millor, tenen més eficiència en la transformació i recuperació com informació, de l'energia dissipada o entropia produïda (Margalef, 1991; Matsuno, 1978). Moltes d'aquestes idees, que són molt en l'estil de Margalef, són suggerents, però probablement necessiten un treball de desenvolupament i posada al dia considerable, encara que si li hem de fer cas a Margalef, potser també hauríem de recuperar o repensar l'expressió de Volterra sobre "l'élan vital" (Margalef, 1997; Volterra, 1937), i de retruc la seva possible aplicabilitat com a descriptor o índex guia per a les agendes-21.





Figura 2. Des del punt de vista de la biosfera, quina petjada és més humana: la de l'animal o la del cotxe? (Foto: J. Flos).

Els conceptes clau més generals sobre el funcionament de l'ecosistema urbà, és que es tracta fonamentalment d'un sistema heterotròfic, que consumeix més que el que produeix, i que per tant des del punt de vista tròfic ha d'importar matèria i energia. Ara bé, els habitants de la ciutat poden pagar-s'ho, ja que a la ciutat la dissipació energètica es transforma eficientment en informació, és a dir, en coneixement i innovació. A l'esquema conceptual hi hem d'afegir doncs el flux d'informació, ja que si la ciutat converteix entropia en informació organitzada, que pot exportar, és perquè també rep un flux entrant d'informació, que s'afegeix a la que hi ha acumulada. L'únic que fan el fluxos tròfic i energètic, és alimentar el sistema que és suport dels mecanismes manipuladors d'informació. Aquesta pot voler dir coneixement de qualsevol tipus, però és també diners, o art, tant en el sentit de tecnologia ("know how"), com en el comunicatiu més general. Cal afegir simplement que l'aparició del poder polític, poder en el sentit d'ascendència i domini sobre la població i el sistema urbà, sigui quin sigui el seu fonament, és l'epifenomen de caire informacional més significatiu de tot aquest procés.

Finalment, al voltant de la mateixa idea de la ciutat com a sistema tròficament consumidor, i en termes generals explotador i controlador de l'entorn més o menys llunyà, hi ha el concepte de petjada ecològica (Rees i Wackernagel, 1996) (Fig. 2). Es tracta de calcular la superfície de planeta que caldria per proveir la ciutat (o regió urbana que es consideri) dels materials i de l'energia que consumeix, i per a acollir sense problemes de reciclatge, els productes de rebuig que el sistema urbà produeix. Per a la ciutat de Barcelona es calcula que la petjada ecològica té una extensió de l'ordre de 500 vegades la superfície del municipi (Prat i Relea, 1998). El concepte és en principi clar si no s'entra en detalls i és força didàctic. A la pràctica, molts aspectes de la manera de calcular-lo són criticables, o, si es vol, amb la mateixa idea es podrien calcular molts índexs similars enfocats a qüestions parcials que poden ser d'utilitat pràctica, especialment en la planificació i gestió ambiental a gran escala. No s'ha d'oblidar que tot just està naixent la consciència de que estem en un mateix planeta i que molts dels problemes amb els quals s'enfronta la humanitat, també a nivell local, no es poden resoldre unilateralment i localment, i que requereixen acords multinacionals.

L'hàbitat urbà i la biodiversitat

Dins de l'estudi del sistema urbà, hi ha també la necessitat de descriure l'ambient des del punt de vista físic, químic i biològic, com espai en el qual s'hi desenvolupen les diferents espècies biològiques i amb el qual interaccionen. La ciutat o el medi urbà de l'àmbit mediterrani en què ens trobem es caracteritza des del punt de vista físic per tenir una proporció important del sòl impermeable i per les edificacions més o menys altes, que forcen l'aparició de microclimes típics de les zones urbanes. Els edificis, habitatges o altres, són estructures buides, amb molts racons i gran diversitat d'espais petits, tant interiors com exteriors. La ciutat també es caracteritza sovint per l'existència de cavitats connexes en el subsòl que poden ser extenses (clavegueres, metro i altres serveis). Quant a la biologia, és clar que la biomassa animal més important és la dels humans, i que les altres espècies animals més significatives, a banda dels animals de companyia, gossos, gats i altres de més exòtics, són les rates i ratolins, certs ocells, i una bona colla d'artròpodes. Els espais verds inclosos dins la zona urbana, pròxims o perifèrics, proporcionen al conjunt una flora i fauna més o menys rica segons l'extensió i grau d'estructuració d'aquests retalls més o menys salvatges. Només cal afegir-hi els sistemes aquàtics. D'aquests en tenim de tota



mena: aigües corrents o estancades, amb superfície lliure o enterrades, marines i continentals, clorades i pudents. Dit això, cal que el lector pensi ara en la diversitat dels assentaments humans que hi ha al planeta. Cada ciutat o regió urbana té les seves particularitats, les que depenen dels constrenyiments físics (orografia, rius, costes, altitud, clima) com dels pròpiament culturals i de grau de desenvolupament, així com la zona biogeogràfica a la qual pertany, ja que aquesta caracteritzarà la composició de l'entorn i dels retalls més naturals que quedin a la zona urbana, i proporcionarà el conjunt d'espècies, o capital de biodiversitat, que d'una manera més directa podrien potencialment adaptar-se novament, al nou entorn urbà.

En aquest sentit, cal que s'analitzi i es descrigui el medi urbà en la seva diversitat de biòtops, i que es confeccioni la llista d'espècies biològiques que s'hi poden trobar. Per Barcelona, Boada i Capdevila (2000) aporten un assaig prou suggestiu sobre la seva biodiversitat, i ofereixen una classificació dels principals biòtops que hom pot observar al medi urbà.

El creixement urbà, en les seves diferents tipologies (alta i baixa densitat per exemple), ha estat tan intens en els últims decennis que el mateix Margalef insisteix sovint en la "inversió de la topologia" entre l'espai urbà i el rural. El procés típic de fragmentació d'hàbitats provocat pels humans, que està produint una disminució ràpida de la biodiversitat, és el mateix procés de desfragmentació que invoca la cada cop més alta proporció d'espai ocupat per l'hàbitat urbà. És a dir, ens trobem que l'espai urbà, que es podia considerar organitzat en illes, cada cop forma taques connexes més grans.

Podem aplicar en el següents raonaments els mateixos models de metapoblacions que s'usen en situacions de variació i fragmentació de la superfície disponible d'un cert hàbitat (Bascompte i Solé, 1997; Hanski, 1999). El model prediu que moltes espècies, en condicions naturals, prístines, sense necessitat d'estar assetjades pels humans, no ocupen ni molt menys tot l'hàbitat disponible, sinó que tan sols n'usen una certa proporció. Això fa que el nombre total d'individus de la població (hàbitat ocupat) disminueixi a mesura que inutilitzem espai habitable, i s'esdevé un punt en què l'espècie desapareix, malgrat que encara hi hagi força hàbitat disponible. Ens trobem que numèricament l'espècie està condemnada a l'extinció, i si en la realitat encara hi és, o pot durar molts anys, és perquè els individus viuen molts anys, i que poden també per atzar, malviure per molt de temps. Ara bé, de mantenir-se la seva forma de vida corrent, la que s'ha fet servir per a estimar els paràmetres del model, resulta que estem parlant de "morts vivents". Una altra cosa és que l'espècie con-

siderada canviï de costums, i s'adapti a nous hàbitats. Entre aquests pot ser l'urbà.

Quan el model de metapoblacions es formula amb l'espai explícit i s'escriu tenint en compte la distància real entre els retalls o indrets habitables, apareix un concepte nou, el de la connectivitat. Moltes espècies poden moure's d'un indret habitable a un altre, sempre que hi hagi un camí "habitable" que uneixi els dos indrets. És a dir, la capacitat de colonització d'un tros d'hàbitat buit depèn de si aquest està connectat físicament a un altre tros d'hàbitat ocupat, per un espai intermedi que també és habitable. A partir d'una certa proporció d'hàbitat destruït, el que resta comença a fragmentar-se, i per tant s'aïllen retalls més o menys grans de territori habitable. La fragmentació de l'hàbitat duu a una acceleració ràpida i no lineal de la disminució dels efectius de l'espècie, ja que les "illes" d'hàbitat deixen de tenir l'oportunitat de ser colonitzades. Es parla del procés de percolació, i la conseqüència més alarmant és que, per una mateixa superfície total d'hàbitat, sumant ara tots els fragments, les espècies poden extingir-se molt abans que en el cas d'un hàbitat totalment connex.

L'espai urbà, distribuït en taques o retalls més o menys extensos, està connectat amb carreteres que són útils per als humans i per a aquelles espècies que nosaltres transportem a propòsit o sense saber-ho, però són veritables illes per a moltes altres espècies, algunes ja adaptades al medi urbà, i altres que eventualment podrien habitar-s'hi. Per a les espècies que ja han ocupat l'hàbitat urbà, es podria formalitzar la dinàmica mitjançant el mètode de les metapoblacions. Ara bé, per a aquelles espècies que eventualment podrien adaptar-s'hi, n'hi ha que segurament fallen en els intents, simplement perquè la quantitat d'hàbitat disponible encara és massa petit (recordeu que les espècies no ocupen tot l'hàbitat disponible però el "necessiten" tot per poder mantenir la dinàmica de colonització i extinció). Actualment l'hàbitat urbà està fragmentat, però anem en camí de desfragmentar-lo, i per tant, de manera sobtada, quan la proporció de territori urbà arribi a un valor crític, es produirà la percolació, i per tant, la desfragmentació, i apareixeran superfícies connexes d'hàbitat urbà, molt grans. En aquell moment, de sobte, moltes espècies podran tenir èxit i aconseguir mantenir i fer prosperar poblacions estables en el medi urbà. És impossible predir quines seran, encara que si analitzem la fauna típica de les ciutats i sobretot mirem aquelles espècies que en els últims decennis s'han adaptat al medi urbà, potser podríem fer juguesques. Entre altres, una raó de pes que ens impedeix predir la fauna i la flora urbanes del futur, és que l'hàbitat urbà no només és heterogeni, i que la qualitat d'hàbitat per a diferents espècies, és diferent, sinó que



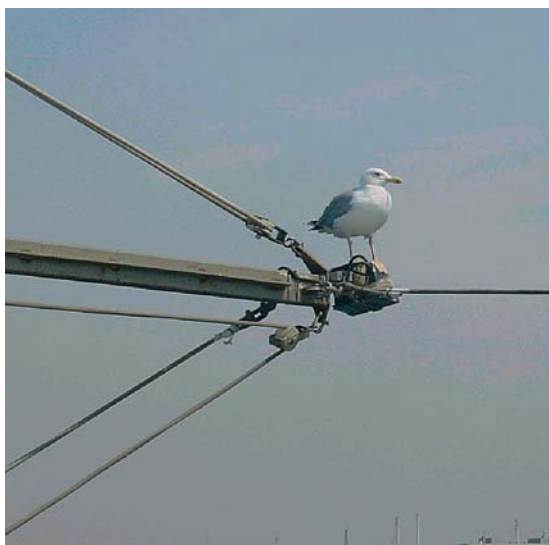


Figura 3. Molts animals, com la gavina, s'adapten amb èxit als ambients i recursos que els humans generem en els medis urbans (Foto: J. Flos).

els humans canviem contínuament les característiques del medi urbà, i del medi periurbà i suburbà. Les espècies que envaeixen la ciutat canvien de costums, s'adapten. L'any 1975 es va observar la primera parella de gavians criant a l'edifici central de la Universitat de Barcelona. Trenta anys després, les gavines s'han convertit en els animals salvatges més grossos de la ciutat (Fig. 3), però també de molts altres paratges. Se les pot veure volant en picat sobre un colom, o tractant de robar l'entrepà d'un nen. Se les veu remenant escombraries, o caminar darrere el tractor en un conreu, arreplegant tots els cucs que afloren en els terrossos capgirats. Finalment, han après a viure a "muntanya" seguint les vies naturals que històricament ja havia colonitzat l'home. Hom podria preguntar-se si la cotorreta de pit gris que ha envaït Barcelona ciutat, i que ja he vist volant pel Maresme en grupets molt reduïts en direcció paral·lela a la costa, hauria pogut sobreviure si no ens haguéssim encaparrat a plantar palmeres i més palmeres, que no només els dóna aliment, sinó que és un espai que saben aprofitar molt bé per a fer-hi nius. Val a dir que la cotorreta a més a més, quan s'alimenta de les deixalles humanes, al costat de pardals i coloms, té una estratègia diferent molt interessant: de lluny mira el que hi ha disponible, vola cap a terra, escull el tros de pa més gros (deixa les engrunes per als pardals), l'agafa amb una urpa i se l'emporta a una branca de l'arbre més proper per a poder menjar amb tranquil·litat.

La idea de metapoblació, de desfragmentació o de connectivitat d'habitat, així com l'efecte afegit del canvi de qualitat de l'hàbitat (heterogeneïtat canviant del medi urbà), és aplicable a tot allò que l'home modifica directament o indirecta en relació a la seva forma de viure en societat i en medis altament modi-

ficats, urbans, de densitat poblacional elevada. Hem d'entendre que els humans, tenim quelcom de similar a les espècies conreades, vegetals o animals, que viuen amuntegades i que formen poblacions ben connectades. Són i som per tant, hàbitats cada cop més desfragmentats (o ben comunicats), i que hem esdevingut susceptibles de ser colonitzats o envaïts per espècies oportunistes, microbis o virus que fins ara no havien tingut gaire èxit, o estaven "controlats", però que finalment poden arribar a establir poblacions estables, o catastròficament exitoses. A més a més, els humans hem descobert en la nostra pròpia carn, a través de la SIDA o de les gripes atípiques, que el fenomen té unes formes molt interessants, tant des del punt de vista pràctic com teòric, ja que no només havíem oblidat massa notòriament la nostra naturalesa animal, sinó que tampoc havíem entès el que és el sexe en termes generals a la biosfera: promiscuïtat genètica. Ara aprenem, a la força, que els microorganismes i els virus, posen en evidència la proximitat genètica entre els humans i moltes altres espècies que ens semblaven molt allunyades de nosaltres: vaques, pollastres, rates o porcs.

Anàlisi reduccionista i modelització

Des del punt de vista funcional, l'anàlisi reduccionista del fenomen urbà consistiria a identificar, descriure i analitzar els mecanismes fonamentals o "microscòpics" de la dinàmica urbana. Un cop coneguts, seríem capaços de reconstruir un sistema, si més no en l'ordinador, i poder fer projeccions de situacions presents o d'evolucions futures, segons condicions experimentals o hipotètiques que volguéssim considerar. De fet, en els últims anys, quasi podríem dir que s'ha posat de moda la simulació en ordinador, tant per a resoldre qüestions molt aplicades i concretes, com per a comprovar aspectes molt més generals o teòrics respecte al comportament dels sistemes complexos. És a dir que hi ha dos aspectes a considerar: 1) identificar les entitats, llurs propietats i relacions, 2) combinar-les per estudiar la generació de processos i la creació de patrons en l'espai i el temps.

Hi ha una relació entre patró i procés que pot ser vist des de dos costats oposats: que el procés genera un patró espacial o que el procés ve determinat o dirigit pel patró o estructura espacial. En aquest segon cas, els canvis temporals del patró són menyspreables davant la dinàmica del procés, i és aquesta dinàmica la que és informada per l'entorn, és la dinàmica que interpreta la informació emmagatzemada en l'estructura; en canvi, quan una dinàmica té una identitat i consistència que es mantenen en el temps, que són independents de l'espai, la informa-



ció passa de la dinàmica temporal a l'espai, és a dir, genera patrons de distribució espacial de certes magnituds. En una perspectiva jeràrquica, i mantenint-nos en aquesta interpretació, quan l'estructura controla la dinàmica, aquella és la condició de contorn; quan és la dinàmica que genera l'estructura, aquesta és una propietat emergent, constructiva, que s'ha d'atribuir o de descriure en una escala superior a la mateixa d'actuació del procés (que diríem que és microscòpic). Aquesta anàlisi jeràrquica (Allen i Starr, 1982; Allen i Hoekstra, 1992) dels components dels sistemes complexos, es pot incorporar a l'estudi descriptiu, reduccionista, i la seva simulació en ordinadors de forma constructivista.

La generació i evolució de patrons de distribució espacial de propietats d'interès ecològic (o altres), pot fer-se de molt diferents maneres. En el cas de la dinàmica urbana, la tècnica dels autòmats cel·lulars és molt estimada, ja que té una versatilitat molt gran. Potser tanta, que un dels problemes amb la simulació és que si fem un sistema dins l'ordinador tan complicat com el real, no hi guanyem gaire. Llavors, convé simplificar, i per qüestions aplicades, hi ha qui aposta per fer models dirigits a l'individu o a l'objecte, de manera que les entitats poden interactuar en l'espai i el temps (de l'ordinador) i es poden estudiar les propietats que ens interressi a l'escala que la modelització ens permeti (p.e. Benenson i Torrens, 2004), i poder incorporar de forma explícita la teoria jeràrquica en la metodologia (p.e. Wu i David, 2002).

De fet, si classifiquem l'espai segons els criteris que necessitem, i a cada punt, retall o tessella, li adjudiquem la categoria corresponent, a partir de models conceptuals, numèrics o empírics podem estudiar l'evolució del paisatge i de les mesures que sobre aquest puguem fer. Es pot estudiar el sistema urbà per ell mateix, o el sistema urbà en relació a un entorn no urbà, però que se'n pot tornar. La influència de l'entorn urbà (i humà) en el paisatge ha estat i és un tema de gran interès. L'ecologia del paisatge ha treballat molt en l'anàlisi de les unitats estructurals i funcionals que es poden distingir, de les seves propietats i de les relacions que tenen entre elles. Forman (1995) parla d'un paisatge de "patch-corridor-matrix": l'estudi del paisatge a partir d'un esquema en el qual hi ha una matriu bàsica en què s'hi superposen teselles o retalls, i corredors o franges. Amb aquests principals elements i llurs propietats, es poden analitzar molts aspectes del paisatge, inclòs l'urbà o periurbà, i també l'ambient que es genera al voltant de les vies de comunicació, des dels camins rurals a les autopistes (Forman et al., 2003). La combinació d'una bona anàlisi del paisatge i de models d'ordinador pot ser molt útil per una planificació i gestió

del territori que pugui considerar aspectes funcionals de caire ecològic, i no només econòmic o estratègic-urbanístic, que és el que més ha interessat fins ara a la gent.

L'ús dels autòmats cel·lulars (o de les xarxes neuronals, estàtiques o fluides), permeten analitzar de quina manera les regles del joc locals (microscòpiques) generen patrons de més gran escala (macroscòpics). El que fa veritablement rics aquests models és que els elements intercanvien i emmagatzemen informació, és a dir, que poden tenir una certa memòria. Els autòmats fixos en l'espai, es comuniquen amb els veïns, i una cosa que es pot modificar convenientment en el model, és qui són aquests veïns. El més senzill és suposar que es comuniquen amb els veïns més propers, 4, 6 o 8, depenent de la geometria de la xarxa en la que es posin els autòmats. Els que són mòbils, es desplacen i interaccionen els uns amb els altres quan es troben. El nivell de complexitat que poden arribar a exhibir sistemes d'aquest tipus és tan gran que pot semblar que resultarien inútils en el sentit que no podríem fer prediccions, ja que partint d'una situació inicial coneguda, qualsevol petita pertorbació podria donar una trajectòria molt diferent. Cert que no podem fer prediccions d'aspectes concrets i microscòpics amb aquests sistemes, però resulten útils per a veure com s'expressen certes regularitats a escales macroscòpiques. Llavors, si som capaços de mesurar en la realitat macroscòpica certes característiques, no trivials, i som capaços de simular, a partir de regles senzilles i clares, unes estructures que tenen les mateixes propietats que les del món real, llavors voldrà dir que hem entès alguna cosa, hauré fet un pas endavant.

Dinàmica de la població urbana

En la societat occidental, hi havia hagut en els últims anys una certa tendència a imaginar que en el futur es tornaria a viure al camp, o que ja no caldria viure en agrupaments densos per gaudir dels avantatges de la ciutat. Aquestes idees anaven aparellades a un creixement de la proporció de teixits urbans poc densos (ciutat difusa), i s'alimentaven de la gran expansió dels nous sistemes de comunicació (internet i telefonia mòbil), i del desenvolupament dels sistemes de transport (autopistes, trens de rodalies d'alta freqüència, trens d'alta velocitat i avions cada cop més ràpids). En aquest planeta, si hom vol (i un s'ho pot pagar) és possible traslladar-se ràpidament des de qualsevol lloc a qualsevol altre.

La realitat en canvi és que hi ha una tendència clara a nivell mundial de creixement de la proporció d'habitants que viuen a les zones urbanes. Aquesta era d'un 8% en 1900, un 40% en 1980, un 50% en 2000, i s'estima que serà de més del 65% al 2025. Cal afegir, que la



població mundial augmenta, i que per tant, el creixement fort serà en les zones urbanes. Per altra banda, cal saber quina població protagonitzarà aquest creixement. Segons estudis del Banc Mundial (citats a O'Meara, 2003) actualment hi ha un 25% de la població urbana que viu en l'extrema pobresa, i és probable que aquesta proporció arribi al 50% el 2035; en aquell moment, més d'un 60% de la població mundial serà urbana. El sistema urbà és divers, i té coses bones i dolentes, i sobretot, canvia molt en el temps, sofreix crisis, i en una perspectiva històrica, hom se n'adona clarament. A principis del segle XI, Còrdova era la ciutat més poblada del món, amb mig milió d'habitants (seguida de Kaifeng i Constantinopla); el 1800, Pequín era líder amb més d'un milió d'habitants (seguida de Londres i Canton); el 1900, Londres era la ciutat més important del món, amb 6,5 milions d'habitants (seguida de Nova York i París), el 2001, Tokyo té més de 26 milions d'habitants i Sao Paulo i Ciutat de Mèxic en tenen poc més de 18 milions. El més interessant d'aquesta història és que de les 10 ciutats més grans del món en 1900, només dues es mantenen a la llista. Nova York doblava llavors llargament la població de Tokyo (4,2 i 1,5 milions respectivament), ara Tokyo quasi dobla la de Nova York.

La població i la seva dinàmica en el temps i l'espai estan en la base de la dinàmica del fenomen urbà. Després de tants canvis en la llista dels deu primers, hom es pot preguntar si hi ha alguna raó per a aquests canvis, o si són per casualitat, per raons externes, i finalment i en general, si hi ha alguna regularitat en la distribució en l'espai o en la freqüència per grandàries o superfície ocupada de les aglomeracions urbanes del planeta. A vegades mecanismes senzills poden explicar coses aparentment complicades; per posar un exemple d'interès per als sistemes urbans. En un punt de l'espai hi posem un procés que és una funció del temps, en aquest cas l'equació del creixement d'una població, que es reproduïx (reacció) en un punt, i això contribueix a la variació temporal, local, de la densitat. A més a més, la població difon en l'espai, i per tant, la variació total en qualsevol punt serà la suma (amb el seu signe) de la variació per reproducció/mort local i la variació pel balanç de fluxos de població entre posicions veïnes que afecten aquell punt. Els càlculs en un espai discret en forma de tauler són molt fàcils de programar i permeten analitzar qüestions d'interès científic i pràctic no trivials (p.e. Bascompte i Solé, 1997). Suposem doncs que les diferents variables (propietats) tenen una dinàmica "interna", poden interaccionar les unes amb les altres en l'espai local, i totes poden difondre. Variant les característiques o paràmetres de les reaccions (per exemple, de consum, de producció, activació i inhibició) juntament amb els coeficients

de difusió que poden ser nuls o no, i diferents per a les diverses variables, es poden generar una sèrie increïblement rica de dinàmiques i de patrons espacials.

Parlant de la població humana i de la manera com es distribueix en l'espai, en ciutats o nuclis de població de diferent grandària, s'ha estudiat la distribució estadística de freqüència de poblacions segons la seva grandària. Es comprova que classificant els nuclis de població per la superfície que ocupen, el nombre de nuclis urbans n de mida A varia amb A segons una llei potencial:

$$n(A) \propto A^{-r} \quad \text{amb } r \approx 2$$

és a dir, com més gran la grandària de l'aglomeració, menys n'hi ha; com més petita, més en podem trobar. Aquesta expressió potencial té relació amb el concepte de fractal (Mandelbrot, 1983): diguem en aquest cas, que a qualsevol escala espacial en la que puguem analitzar la distribució de pobles i ciutats, ens adonem que l'estil amb què la població omple l'espai, no canvia.

Si mirem la freqüència de ciutats segons els nombre d'habitants (N), veiem que:

$$n(N) \propto N^{-r}, \text{ amb un valor de } r \text{ molt proper a } 2.$$

Hi ha molts mecanismes que segur que influeixen en la creació i creixement de ciutats, i en la regulació de llur importància segons habitants, però el fet que les ciutats del món, es distribueixen segons una llei de probabilitat potencial tan ben definida, fa pensar que és possible que un mateix mecanisme, no necessàriament complicat, generi per la base, aquesta distribució. Zanette i Manrubia (1997) van proposar un mecanisme molt senzill basat en la idea de reacció-difusió, amb la simplificació afegida que se suposa que la població globalment no augmenta ni disminueix, que tan sols es redistribueix. Per a fer-ho, apliquen un algorisme estocàstic que usa dos probabilitats, p i q . El terme de "reacció" en cada punt consisteix a suposar que la població $n(x,t)$ passa a ser en l'instant següent:

$$\begin{aligned} n(x,t) &\cdot (1-q) \cdot p^{-1} \text{ amb probabilitat } p, \text{ o bé} \\ n(x,t) &\cdot q \cdot (1-p)^{-1} \text{ amb probabilitat } (1-p) \end{aligned}$$

Fixeu-vos que si apliquem aquesta funció en tots els punts (en una malla de 100X100 n'hi ha ben prou), en mitjana la suma dels valors inicials, si estaven homogèniament distribuïts serà constant. El terme de difusió el fa simplement repartint cap als costats, per un igual, una certa proporció (α) de la concentració de població que hi ha en un punt. En la Figura 4 podeu veure una simulació feta amb aquest model, i podem copsar que realment, l'estil s'assembla força al de la distribució de les





Figura 4. Distribució de la població en un paisatge simulat mitjançant el model de Zanette i Manrubia (1997). Els colors indiquen nivells de població creixents, en escala logarítmica, de gris clar a vermell fosc i negre.

poblacions. El cas és que aquest modellet reproduïx amb molta exactitud l'exponent $r=2$ de la realitat, i aquest exponent no depèn dels valors concrets de p , q ni α , fet aquest que el fa especialment interessant.

A vegades hi ha diversos mecanismes que poden donar el mateix resultat, i llavors es tracta de buscar altres propietats del món real que hagin de ser explicades també pels mecanismes candidats. La idea que la simple redistribució espacial pugui explicar les propietats estadístiques de les aglomeracions urbanes fa pensar. De fet, ens trobem sovint que molts aspectes de la natura poden ser modelats mitjançant mecanismes força senzills, que vénen a ser la quinta essència dels que operen al món real, molt més complex i bigarrat. En el cas de la població, hom pot suggerir que un dels primers mecanismes de la formació d'aglomeracions urbanes és precisament que la gent se sent atreta pels llocs on hi ha gent. Seguint aquesta simple idea, podem fer créixer les poblacions en un cert entorn, mitjançant un procés estocàstic (Fig.

5), en el qual, aquest cop sí, fem créixer el total de la població, afegint elements "poblats" a l'atzar. La probabilitat que un lloc no poblat sigui ocupat és molt petita, però a còpia de temps, la gent s'instal·la en algun lloc. Immediatament, la probabilitat que algú que arribi al voltant d'una casella poblada s'hi quedi, augmenta. En el model aplicat a la Figura 5, cada posició ocupada (i cada nova ocupació) genera un lleuger increment en la probabilitat de que alguna casella de l'entorn immediat sigui ocupada. L'estil que s'obté és semblant al de la Figura 4, i no ha de ser necessàriament igual. Ara bé, a ningú se li escapa que l'estil de cap dels dos models no és del tot el de la distribució de la població urbana real. El que manca més clarament és la forma "d'estrella" que les vies de comunicació generen al voltant dels nuclis de població. Aquesta forma estrellada, ha suggerit modelitzar-lo per un mecanisme d'agregació similar al de l'agregació amb difusió limitada (DLA) que genera formes dendrítiques (p.e. Batty i Longley, 1994). En realitat, en el cas dels sistemes





Figura 5. Distribució de la població en un paisatge simulat mitjançant un model estocàstic d'agregació (vegeu el text). Els colors indiquen nivells de població creixents, en escala logarítmica, de gris clar a vermell fosc i negre.

urbans, el mecanisme seria més aviat d'agregació "facilitada per la difusió", ja que les vies de comunicació que es construeixen entre els grans nuclis de població, fan augmentar la probabilitat que els espais propers s'urbanitzin, ja que és com si fossin "veïns" dels nuclis poblats.

Val la pena encara indicar que el model de Zanette i Manrubia (1997) ens explica una distribució d'una població nòmada: els nuclis es fan i es desfan, i es desplacen amb el temps. El que queda estacionari és l'aspecte. En canvi, en el model d'agregació de la Figura 5, un cop una casella ha estat ocupada, no es pot tirar enrere: amb aquest simple mecanisme s'acabaria omplint tot l'espai. La regularitat que el primer model tracta d'explicar només s'obté, de veritat, considerant espais molt grans (el planeta sencer millor), i el que s'observa és el resultat de mil·lennis, o segles, de funcionament. És a dir, una escala en la qual veritablement hi ha hagut molt de "redistribució de població", i en la qual, el creixe-

ment de la població urbana global simplement fa canviar l'escala, quant a la grandària possible de la ciutat més gran, però justament la propietat que s'explica, el pendent de la funció de distribució potencial, és independent de l'escala (una propietat fractal).

Les lleis d'escala ajustades amb dades reals sovint presenten singularitats, canvis en el pendent, que justament ens indiquen que certs mecanismes actuen en uns rangs, i altres mecanismes en altres rangs. Un bon exemple d'interès per a aquest article ens l'ofereix el treball de Gomes (2001), que analitza les propietats geomètriques (fractals) de la distribució de les llengües en relació a la dels assentaments humans. Gomes i altres (1999) van analitzar la relació entre el nombre de llengües que es parlen i l'àrea del país o regió en què es parlen i la grandària de la població que parla certa llengua. En aquest estudi es comprova que el nombre de llengües (D) parlades es relaciona amb la superfície (A) en una relació potencial:



$$D \propto A^z \text{ on } z = 0,41,$$

la qual cosa significa que, tenint en compte que la superfície és proporcional a L^2 , les llengües es distribueixen proporcionalment a L^{2z} , és a dir, segons $L^{0,82}$, en un objecte fractal de dimensió inferior a 1. Seguint amb les llengües, el nombre de llengües n parlades per N individus es distribueix proporcionalment a $N^{-\theta}$, amb una θ que val 2 per N superior a 20 milions, mentre que $\theta = 1,5$ per N inferiors. El canvi de pendent indica que hi ha alguna cosa que marca dos rangs d'escala que donen lloc a dos classes de processos que afecten dos grans tipus de llengües diferents. Només hi ha unes 20 llengües que siguin parlades per més de 20 milions de persones, mentre que de les més de 6.000 llengües que es parlen al món, la meitat ho són per menys de 10.000 persones, i una quarta part per menys de 1.000. L'exponent 2 del rang de la vintena de llengües més parlades del món, és coincident amb el de la distribució estadística de les ciutats segons l'àrea ($n(A) \propto A^{-\theta}$) o segons nombre d'habitants ($n(N) \propto N^{-\theta}$) on $\theta = 2$, i que aconsegueix el model de reacció-difusió per la redistribució de la població comentat anteriorment. A una escala inferior, es pot treballar amb cases o habitatges que formen illes dins d'un barri o una ciutat. Analitzant la geometria d'assentaments humans que han crescut sense restriccions urbanístiques (barris de barraques de Recife) Gomes (2001) troba l'exponent 1,5. El nombre d'illes d'habitatges $n(s)$ segons la grandària (s) d'aquestes "aglomeracions", normalitzant en els diferents barris segons el nombre total d'illes del barri ($\langle n(s)/N \rangle$) segueixen una relació hiperbòlica:

$$\langle n(s)/N \rangle = \langle n(1)/N \rangle \cdot s^{-\theta} \text{ on l'exponent } \theta = 1,55$$

Els assentaments espontanis, limitats a una àrea per colonitzar, inicialment omplen l'espai cap endins, amb una geometria amb exponent 2. Quan augmenta l'empaquetament, concretament, que "l'àrea de sostre/àrea disponible" arriba a valors de prop de 0,4, el pendent canvia i assoleix el valor proper a 3/2.

La manera com les llengües o els habitatges, o qualsevol propietat d'interès, omple l'espai és important, no només a l'hora de contrastar les hipòtesis dels mecanismes candidats a ser-ne l'origen, sinó a l'hora de poder-se relacionar unes variables amb les altres a diferents escales i a través de les escales, en el funcionament de l'ecosistema.

En el cas per exemple de les llengües, on una vintena d'elles estan esteses per grans superfícies i es parlen molt, mentre que els centenars de les restants s'usen en països únics o en regions molt reduïdes, Gomes

(2001) ho relaciona amb les estratègies de comunicació dels humans que segurament s'han seleccionat. L'evolució de les llengües i la selecció natural a què estan sotmeses es fa en l'entorn de l'ecosistema, l'entorn social en aquest cas, dins de la família i del poble, i es passen de pares a fills, com la cultura i el cognom (p.e. Zanette i Manrubia, 2001), i les llengües canvien perquè la transmissió d'una generació a l'altra no és perfecte (p.e. Nowak i altres, 2002), i perquè hi ha contactes, aïllaments i hibridacions (p.e. Wurm, 2001). En qualsevol cas, en tot moment la llengua ha de ser funcional, útil per a la comunicació, i això manté la llengua en tensió entre els elements que es comuniquen, que han d'extreure'n un "rendiment" en relació a l'esforç que fan a l'hora de comunicar-se (Ferrer i Solé, 2003). Aquesta mena de coneixements posats a l'escala convenient, potser en l'interior del país o de la ciutat, han de permetre comprendre millor l'arquitectura funcional, material i lògica, de l'ecosistema urbà.

Els constrenyiments del creixement urbà

A ningú se li escapa que els models anteriors i que donen lloc a les Figures 4 i 5 són acadèmics, però permeten comprovar la possibilitat que certs mecanismes senzills siguin responsables de certs aspectes de la geometria del paisatge. Malgrat que hem posat un mar blau a les simulacions, queda clar que els constrenyiments físics del territori marquen molt la fesomia de la distribució de la població, o dels diferents usos del sòl urbà (habitatge, indústria o serveis comunitaris, per exemple). El territori real es pot incloure a les simulacions o als models dels sistemes urbans. Llavors, per exemple, es pot imaginar que el sistema urbà difon o percola seguint la geometria i propietats del suport real. Lin i altres (2003) per exemple, simulen l'expansió urbana per un procés de difusió, prenent la densitat de població com a força "interna" que actua de motor, mentre que l'economia és la força externa que empeny l'expansió urbana. Però a banda dels constrenyiments físics, que poden ser fixos o temporalment variables, hi ha també els informacionals, i entre aquests hi ha els econòmics i els polítics. El resultat és que per entendre el que tenim en una ciutat o en una regió altament urbanitzada com Barcelona, hem de seguir-ne la història, i llavors podem veure els factors que han modelat l'actual sistema, i aprendre'n.

El període que va des del segle XI al XIII és a Europa el que marca el que serà, i encara és la distribució de les ciutats i la fenomenologia urbana posterior, inclosa l'actual. L'expansió agrícola i els excedents, generen dos processos paral·lels: la configuració del règim feudal i el desplegament urbà. Durant aquests



segles, el feudalisme creix sòlidament, alimenta i incentiva indirectament les primeres ciutats, però aquestes prenen una dinàmica pròpia, i al final del període absorbeixen una bona part del poder fàctic, i esdevenen les aliades de la monarquia, amb la qual poden negociar certs nivells d'autogovern. Aquest reflecteix un nivell de consciència ciutadana i de cohesió col·lectiva, fruit alhora del fet diferencial: en el medi urbà hi ha un grau de connectivitat més gran i divers que en àrees poc poblades i amb poca diversitat d'ocupacions. La ciutat del coneixement, que tant està de moda a principis del segle XXI, sempre ha estat el fet diferencial de la ciutat. Davant de calamitats (a Barcelona, l'any 1333 fou recordat com "el mal any primer") la ciutat té més agilitat per adaptar-se a les noves circumstàncies, i supera millor els efectes immediats de la pesta sobre l'economia (la primera pesta bubònica fou el 1348). La ciutat enfronta l'amenaça de crisi de subsistències procurant-se un avituallament de blats procedents de contrades llunyanes i equilibrant la balança comercial a través de l'estímul de les produccions exportables. Per altra banda, la caiguda demogràfica promou la concentració de fortunes i l'increment del comerç, que beneficia fonamentalment la ciutat.

Des de mitjan segle XIV fins a entrat el XVI, a Barcelona hi ha una estructuració de la ciutat en una polarització centre-perifèria, amb àrees marginals amb nivell econòmic baix per fora, i una àrea central més rica, però que manté una convivència de categories socioeconòmiques diversa, amb una proximitat molt característica entre riquesa i pobresa. Al fogatge de 1516 es veu per exemple que una àrea que té el 14% de la superfície de la ciutat conté el 41% de la població (fora de les muralles romanes, nuclis actius, al voltant del Mercadal, el port i el rec comtal) (Garcia i Guàrdia, 1986).

Entre 1516-1716, que són dues dates ben documentades referents a població, es fa palès que els tres agents de canvi responsables de les transformacions urbanes són: 1) l'aristocratització dels burgesos i comerciants, i del poder municipal, que introdueixen un interès especial per l'art i la cultura, interès per la bellesa de la forma urbana, la intervenció de l'arquitecte i de l'enginyer militar en la configuració de les intervencions constructives i d'urbanisme; 2) l'expansió conventual, generada per la contrareforma; proliferació de convents des de mitjan segle XVI a mitjan del XVII, de diversos ordes que tenen privilegis especials per a expropiar i que competeixen per l'espai i s'hi distribueixen intentant no superposar les seves àrees d'influència i d'expansió urbana; cal recordar que en 1370, Pere el Cerimoniós prohibí construir convents dintre muralles, i 3) la militarització, ja que si bé Barcelona havia participat en conflictes i guerres,

en l'àmbit econòmic i mariner, com a centre logístic, en aquesta època se li atorga una consideració de plaça militar.

No cal dir que la Barcelona actual és producte de la història, i que la construcció de la Ciutadella després de la caiguda de la ciutat al 1714, que va requerir l'enderrocament de més de mil cases en la zona del Born, com l'enderrocament de les muralles, l'ordenació de l'eixample i l'annexió de les viles dels voltants (a partir dels anys seixanta del segle dinou) formen part de l'actual forma de la ciutat, i han condicionat la seva estructura social i de funcionament.

Quant als darrers temps de la construcció de la gran àrea metropolitana, Font i altres (1999) assenyalen i argumenten, amb una cartografia excel·lent, els tres mecanismes bàsics que han dominat en períodes successius el desenvolupament urbà a casa nostra: el creixement "per agregació", el creixement "per dispersió", i el creixement per "polarització" actual.

Cal doncs tenir en compte que en l'ecosistema urbà, tant en l'àmbit local, intern, com en el supraciudadà, la gestió de la informació, l'economia i la política són fonamentals. Tal com indica Pueyo (2004), la manca de democratització en els poders econòmics mundials, és un dels reptes importants amb els quals encentem el segle XXI. Tanmateix, no és un fenomen nou, sinó que s'ha anat produint una i altra vegada: la generació d'una estructura informacional organitzada a una escala superior a la del sistema humà que tracta amb les transferències materials i energètiques, i que és on resideix la reproducció i mort dels individus. Les transaccions econòmiques, quan tenien una relació directa amb els béns de consum materials o de serveis "clars", podien fàcilment incloure's en els esquemes funcionals ecològics. Odum (vegeu per exemple les múltiples referències a Odum, 1996) havia proposat fer els fluxos de diners, fluxos informacionals, paral·lels als de béns materials o altres, però en direcció contrària (el pagès duu les cols a la ciutat i torna amb diners... o amb una flassada que ha comprat amb els diners que li han donat a la ciutat per vendre les cols). Actualment, més del 50 % de les transaccions econòmiques es fan en l'àmbit financer, i no hi ha al darrere cap flux de matèria i energia en paral·lel.

Les ecologies del sistema urbà

En els últims anys l'ús de l'expressió "una ecologia" (en anglès "an ecology" o en plural "some ecologies", per exemple), apareix cada cop amb més freqüència en la literatura especialitzada sobre ecologia teòrica, per referir-se a sistemes generalment formals (models) que funcionen com se suposa que ho fa un sistema ecològic. No cal aclarir que aquesta trans-



substantivació de la paraula ecologia és genuïnament anglosaxona. La paraula ecosistema ha tingut mala premsa des de bon principi en certs àmbits del món científic anglosaxó. Per altra banda, suggereix un suport físic del tipus que estudia clàssicament l'ecòleg. Margalef (1974) diu clarament que es tracta d'un nivell d'organització. És en aquest sentit que l'expressió "una ecologia" aplicada com es fa ara, indica sense problemes precisament això, un nivell d'organització que no fa referència a cap suport físic concret. Això permet tractar amb unes mateixes tècniques i objectius generals tota una família oberta de sistemes, "ecologies" en diríem, que comparteixen estil de funcionament i complexitat, autoorganització i coadaptació, independentment del seu suport físic (espècies, màquines, funcions, paraules,...), o qualsevol nivell descriptiu, o amb semàntiques diferents. Tota ecologia presenta una lògica interna, una organització, que és com una mena de món, en petit i simplificat, i fins i tot parcial. Així podem trobar també ecologies en assumptes socials, econòmics, o polítics. Així, ens podem trobar sovint que algú comença dient: "Tenim una ecologia amb aquestes característiques,...", referint-se per suposat a un model que tot seguit l'autor passa a fer explícit. Convé recordar, que tal com molt bé diu Margalef, el nivell d'organització de l'ecosistema, és a dir el "d'una ecologia", és aquell en el qual opera l'evolució i la selecció natural, emfasitzant l'adherència entre ecologia i evolució, com una parella indissociable.

En el cas de l'ecosistema urbà, hi podem descriure i analitzar multitud d'ecologies, és a dir, de sistemes sovint superposats, que poden compartir o no les mateixes entitats formals o físiques, i que poden tenir diferents graus de connexió o d'interferència. Diguem que en l'ecosistema urbà, que és l'expressió més intensa de la naturalesa humana, els aspectes informatius són molt més importants que en cap altre lloc de la natura (Fig. 6). Tant és així, que ara (en aquest "instant" d'uns quants segles que vivim) estem passant una mena de crisi, ja que l'economia, una construcció simbòlica per a la gestió d'informació agregada, muntada originàriament sobre el funcionament tròfic i adaptatiu de l'espècie humana, ha passat a dirigir el funcionament de l'ecosistema urbà, i humà en general, desvinculant-lo en gran mesura dels sistemes de control materials que havien operat en altres temps i escales. Tanmateix, la desvinculació només és aparent i per una estona i per a alguns. En el tema d'ecologia i economia, com en tants d'altres, convé no oblidar que si morim, s'acaba el joc; que els diners no es mengen, ni serveixen per escalfar la casa, si és que hi ha casa. Hem d'incorporar en l'ecologia, la biologia, la matèria i l'energia; els



Figura 6. En el sistema urbà es dona una superposició de tota mena d'informació i de llenguatges; una superestructura simbòlica, feta d'ecologies amb peus de fang (Foto: J. Flos).

aspectes informatius. Sabem que la base última física comuna a totes aquestes ecologies és la biosfera, amb el seu ambient físic i els seus organismes, però en la seva formalització, de moment no s'ha trobat la manera d'encabir-les totes en una mateixa descripció. No sé pas si és una qüestió decidible o no, en el sentit formal i lògic del terme.

En tot cas, cal tenir en compte que en els ecosistemes humanitzats, la informació adquirida en una escala determinada, es pot reintroduir en el funcionament del sistema en altres escales. Això és quelcom que nosaltres podem fer i fem sovint, no sempre amb els resultats previstos.

Quan fem un model per explicar algun fenomen, el primer pas consisteix a fixar-ne l'escala, com una finestra en l'espai temps: el que queda per sota es parametriza i el que queda per sobre es pren com condició de contorn. La relació entre les diferents ecologies no pot ser senzilla, ja que hom reconeix que en el funcionament d'una d'elles es pot haver perfectament parametrizat el funcionament de l'altra. En un model, la informació recollida a una escala o en una "ecologia" paral·lela, es podria reintroduir en la definició del comportament d'un autòmat, o en la descripció de l'estratègia d'un agent, per exemple.



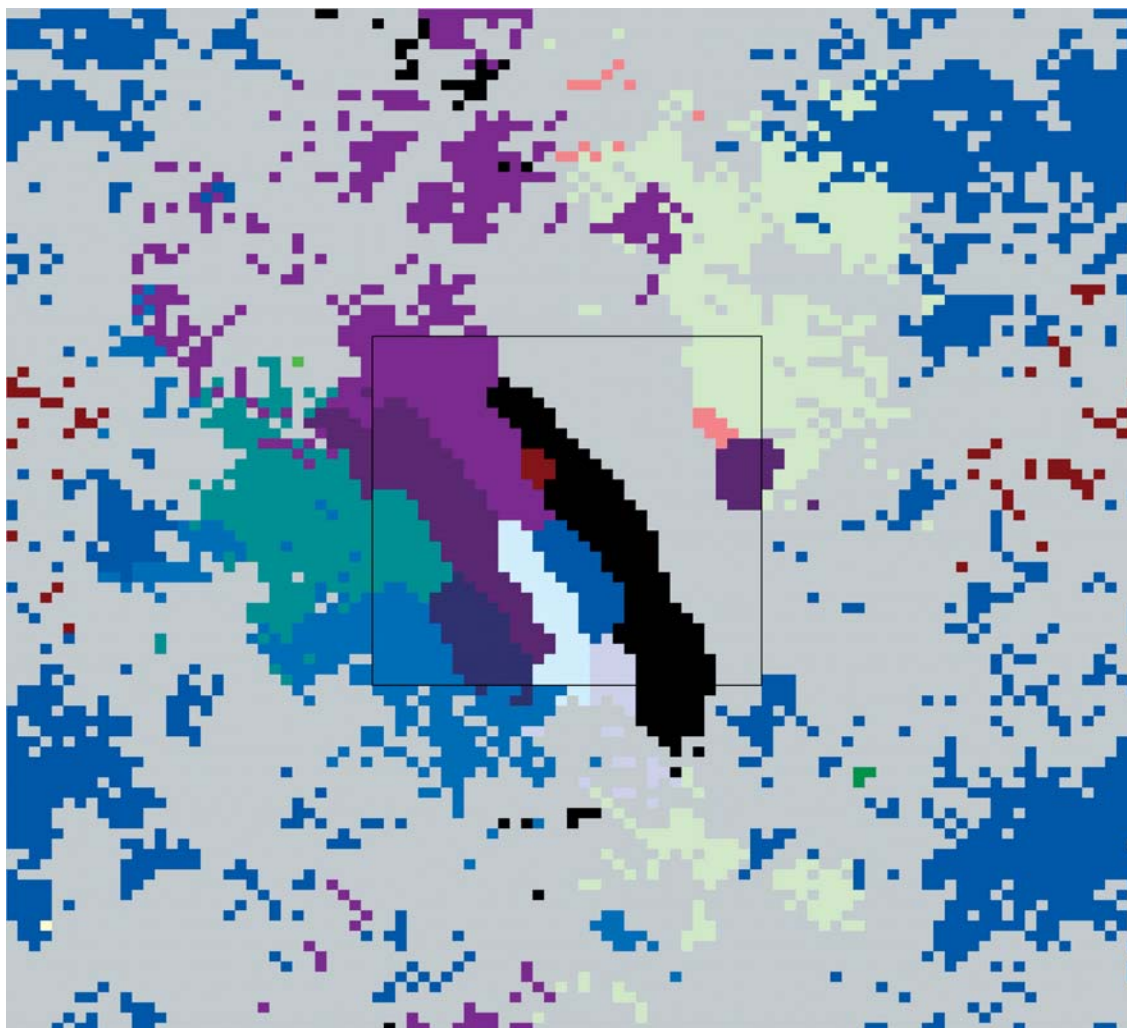


Figura 7. Una dinàmica d'autòmats en un tauler. El canvi de color es fa seguint unes regles locals, segons la distribució de freqüència de colors dels veïns més propers. Al centre, les regles queden condicionades per una mesura global de tot l'espai emmarcat per la línia negra: la ciutat de l'ordre. Al voltant, no hi ha cap objectiu i la dinàmica és "anàrquica". Vegeu el text pels detalls.

En ecologia, el nivell d'organització més baix en la jerarquia és l'individu, però hi ha un continu de complexitat creixent, que es construeix a força de l'aparició de nivells jeràrquics imbricats o inclosos els uns dins dels altres. Aquesta aparició d'entitats clarament diferenciades, organitzades en una cadena jeràrquica, és molt clara i sorprenent en l'estructura dels òrgans dels organismes més complexos, on l'individu emergeix de la combinació funcional i anatòmica dels òrgans. Però per sobre, en ecologia (i de retruc en la dinàmica dels sistemes complexos), un dels temes clau que caldria comprendre és l'aparició d'entitats i llur diferenciació al llarg del desenvolupament dels sistemes que s'autoorganitzen. En ecologia hi ha entitats com ara la comunitat, que són sovint acceptades com nivell d'organització complex reconeixible, però que tot naturalista sap que no és mai única, que és emergent i no constitueix un superorganisme o un sistema capaç de reproduir-se. En canvi, contínuament

la natura repeteix l'experiment i reconstrueix, a través de la dinàmica constructiva de la successió, o altres dinàmiques típiques de processos de regressió produïdes per forces externes, o per la gestió d'informació, les mateixes comunitats, formacions o fàcies.

La ciutat de l'ordre

La ciutat del coneixement, del poder polític, de la cultura, l'art, i la tecnologia, és també la ciutat de l'ordre, en el sentit de que està organitzada, però sobretot en el sentit que hi ha lleis, normatives i reglaments. A Barcelona, el Consell de Cent decidia quelcom, i el pregoner ho anava a comunicar als ciutadans, per tal que tothom sabés: "que ni cap home ni cap dona gosi tenir porc ni truja a Barcelona que vagi per la ciutat o que estigui fermat al carrer" (1387, Vinyoles, 1999).

Quan en un sistema hi ha crisi, una manera de superar-la consisteix a canviar d'escala.



Quan la ciutat creix, i creix la població, l'espai i els serveis queden petits. Apareixen problemes de tota mena, i de fet, a qualsevol escala, aquests problemes s'han de solucionar col·lectivament, es tracti d'una col·lectivitat petita, la de la família o els veïns del carrer o l'escala. Posar-se d'acord, o el simple fet d'acatar les ordres d'algun jerarca que té una visió de conjunt, modifica el comportament individual o d'abast petit. En un model diríem que quelcom mesurat en una escala col·lectiva, produeix per construcció un canvi en la relació que hi ha entre cada autòmat amb els seus veïns immediats.

A tall d'exemple, proposo un joc en relació a la dinàmica de la diversitat d'estats que un tauler d'autòmats pot generar per un procés estocàstic (Fig. 7). En aquesta dinàmica, cada casella pot estar en un de NS estats. S'inicia la dinàmica amb una distribució a l'atzar dels estats en tot el tauler ($N \times N = 100 \times 100$ caselles). A cada iteració, es repassen tots els llocs, en un ordre generat a l'atzar, per permutacions, i l'individu (usaré aquest nom per a cada casella) inspecciona els veïns més propers (en aquest cas 8) i "tirant un dau" decideix canviar de color (l'estat finalment és un color) agafant el més comú entre els veïns ($1-p$), o, canviar agafant el menys comú (p). Dit en altres paraules, a l'atzar, decideix si fer disminuir o augmentar la diversitat local (la d'ell i els seus 8 veïns) mesurada aquesta per l'índex de Shannon (H). Aquest comportament el decideix l'atzar, i no hi ha cap objectiu a complir, ni cap ordre de ningú. Ara bé, al mig del tauler, hem posat una "ciutat de l'ordre" (quadrat central a la Figura 4), en la qual, un "jerarca", que pot mesurar la diversitat d'estats que hi ha a la ciutat, s'ha fixat un objectiu (una diversitat de referència per a la ciutat, $HREF$) i ordena a cada individu de canviar a l'estat més comú que vegi en els seus veïns si la diversitat actual és superior a la de referència, o de triar canviar cap a l'estat menys freqüent entre els veïns, si la diversitat de la ciutat és més baixa que la de referència. En la dinàmica, sempre hi ha una probabilitat molt baixa ($PNOU$) que un estat canviï cap a qualsevol dels NS estats possibles, la qual cosa dóna una certa possibilitat de "renovació". Augmentar aquesta probabilitat en el model, és com ficar soroll i diversitat que "s'ha d'organitzar".

Sense entrar en detalls, només cal veure que la zona central (Fig. 7) té un estil diferent de l'entorn. Des del punt de vista tècnic, només dir que el tauler té les bandes de dalt i de baix, i la dels dos laterals, connectades, per tal d'evitar l'efecte paret. El quadrat central, no té límits físics amb l'entorn. És a dir, les caselles de la part de fora de la ciutat es comporten anàrquicament, però tenen en compte l'estat de les caselles veïnes de dins de la ciutat, i aquestes tenen en compte també l'estat

de les veïnes anàrquiques que estan fora del recinte virtual.

En la figura es mostra la iteració 4.000, i s'ha generat amb el nombre d'estats possibles $NS=35$, $PRNOU=0,00005$, $p = 0,20$, i la diversitat de referència $HREF=2,0$. La diversitat total, conjunta de ciutat i entorn és de $Htot=2,04$, la de la ciutat $Hordre=3,12$ i la de l'entorn, $Hcaos=1,70$. Ara bé, hi ha més estats diferents a fora de la ciutat (17) que a dins (13). Resulta que convertir una visió global en una acció local, en lloc d'aconseguir l'objectiu de tenir una diversitat 2, obté una diversitat molt més alta (3,12), encara que realment, cada ciutadà té la sensació que el seu veïnatge és molt avorrit. Ara bé, els patrons espacials de distribució, estan clarament molt més organitzats a la ciutat: cada cosa al seu lloc, i sense barrejar-se. Aquesta és la conseqüència de pensar globalment i actuar localment, a un nivell "poc elaborat". Tanmateix, ofereixo aquest exemple per a fer reflexionar al lector. Cal tenir present que estem en ple desenvolupament de les Agendes 21 locals, i que l'ecologia urbana ha d'ajudar a plantejar millor l'ús del territori, i per tant a fer lleis i normatives. Cal comprovar amb modelitzacions, sempre que sigui possible, l'efecte que una certa normativa generarà en el paisatge i en el funcionament de la ciutat i del territori. Aquest exemple ha de fer pensar en el grau de confiança que hem d'atorgar als índexs de sostenibilitat, mesures col·lectives o globals, que no hagin passat per una modelització o una anàlisi crítica abans d'entrar a formar part de les normatives o de les directrius recomanables en la planificació urbana i territorial.

Bibliografia

- ALLEN, T.F.H., i STARR, T.B. (1982). *Hierarchy: Perspectives for ecological Complexity*. University of Chicago Press, Chicago.
- ALLEN, T.F.H., i HOEKSTRA, T.W. (1992). *Toward a Unified Ecology*. Columbia University Press, Nova York.
- BARRACÓ, H., PARÉS M., PRAT, A. i TERRADAS, J. (1999). *Barcelona 1985-1999. Ecologia d'una ciutat*. Ajuntament de Barcelona, Barcelona.
- BASCOMPTE, J. i SOLÉ, R.V. (eds.) (1997). *Modeling spatiotemporal Dynamics in Ecology*. Springer and Landes Bioscience, Berlin.
- BATTY, M. i LONGLEY, P. (1994). *Fractal Cities. A geometry of form and function*. Academic Press, London.
- BENENSON, I. i TORRENS, P.M. (2004). Geosimulation: object-based modeling of urban phenomena. *Computers, environment and Urban systems*, 28: 1-8.
- BEGON, M., HARPER, J.L. i TOWNSEND, C.R. (1988). *Ecologia. Individuos, poblaciones y comunidades*. Omega, Barcelona.



- BOADA, M. i L. CAPDEVILA (2000). *Barcelona, biodiversitat urbana*. Ajuntament de Barcelona, Barcelona.
- BOTKIN, D.B. i BERVERIDGE, C.E. (1997). Cities as environments. *Urban Ecosystems*, 1: 3-19.
- CONRAD, M. (1983). *Adaptability: the significance of variability from molecule to ecosystems*. Plenum Press, New York.
- FERRER, R. i SOLÉ, R.V. (2003) Least effort and the origins of scaling in the human language. *PNAS*, 100(3): 788-791.
- FONT, C., C. LLOP i J.M. VILANOVA (1999) *La construcció del territori metropolità. Morfogènesi de la regió metropolitana de Barcelona*. Area metropolitana de Barcelona, Mancomunitat de Municipis.
- FORMAN, R.T.T. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge.
- FORMAN, R.T.T., i ALTRES (2003). *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington.
- GARCIA, A. i M. GUARDIA (1986). *Espai i societat a la Barcelona per-industrial*. Edicions la Magrana- Institut Municipal d'Història, Ajuntament de Barcelona.
- GOMES, M.A.F. (2001) Geometrical aspects in the distribution of languages and urban settlements. *Physica A* 295: 9-16.
- GOMES, M.A.F., VASCONCELOS, I.J., TSANG, I.J. i TSANG, I.R. (1999) Scaling relations for diversity of languages. *Physica A* 271: 489-495.
- HANSKI, I. (1999). *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press, Oxford.
- LIN, L., SATO, Y. i ZHU, H. (2003). Simulating spatial urban expansion based on a physical process. *Landscape and planning*, 64: 67-76.
- O'MEARA SHEEHAN, M. (2003) Unim les ciutats dividides. Dins: *World Watch Institute. L'estat del món 2003*, pp.145-169. Centre Unesco de Catalunya.
- MANDELROT, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, CA.
- MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona
- MARGALEF, R. (1985). *L'ecologia*. Diputació de Barcelona, Barcelona
- MARGALEF, R. (1991). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Publicacions Universitat de Barcelona. Barcelona.
- MARGALEF, R. (1997). *Our Biosphere*. Ecology Institute, Nordbunte 23, D-21385 Oldendorf/Luhe, Germany.
- MATSUNO, K. (1978). Evolution of dissipative system: a theoretical basis of Margalef's principle on ecosystem. *Journal of Theoretical Biology*, 70: 23-31.
- MCINTYRE, N.E., KNOWLES-YÁNEZ, K. i HOPE, D. (2000). Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of "urban" between the social and natural sciences. *Urban Ecosystems*, 4: 5-24.
- NOVAK, M.A., KOMAROVA, N.L. i NIYOGI, P. (2002). Computational and evolutionary aspects of language. *Nature*, 417: 611-617.
- ODUM, H.T. (1996). *Environmental accounting. Emergy and environmental decision making*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- PATTEN, B.C. i ODUM, E.P. (1981). The cybernetic nature of ecosystems. *American Naturalist*, 118:886-895.
- PRAT, A. i RELEA, F. (1998). *La Petjada Ecològica de Barcelona. Una aproximació*. Ajuntament de Barcelona, Barcelona.
- PRATS, C. i FLOS, J. (1991). Ecology at an exhibition: impact and informal learning. A: *Homage to Ramon Margalef, or: Why there is such pleasure in studying nature* (J.D. Ros i N. Prat, eds). *Oecologia aquatica*, 10: 393-409.
- PRATS, C., FLOS, J., PIQUÉ, J., CARRAU, M.J. i DURO, A. (1989). Analysis of an itinerant exhibition, Ecology: type of public, opinions and behaviour evaluated in eight towns and cities in Catalonia. *Estudis i Recerques*, 3. Ajuntament de Barcelona.
- PUEYO, S. (2004) Economia sostenible? *L'Atzavara*, 12: 21-28.
- REES, W. i WACKERNAGEL, M. (1996). *Our Ecological Footprint*. The New catalyst, Bioregional series, Canada.
- RUEDA, S. (1995). *Ecologia Urbana. Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents*. Beta Editorial
- TERRADAS, J. (2001). *Ecologia Urbana*. Rubes Editorial, Barcelona.
- RUEDA, S. (2002). *Agenda-21. Barcelona, ciutat mediterrània, compacta i complexa: una visió de futur més sostenible*. Ajuntament de Barcelona- Agència Local d'Ecologia Urbana de Barcelona (87pp).
- VINYOLÉS, T. (1999). Ús social de l'espai a la Barcelona gòtica. A: *La Barcelona gòtica*, pp. 57-98. ICUB- Museu d'història de la ciutat, Ajuntament de Barcelona.
- VOLTERRA, V. (1937). Principes de biologie mathématique. *Acta Biotheor.*, 3: 1-36.
- WU, J. i DAVID, J.L. (2002). A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications. *Ecological Modelling*, 153: 7-26.
- WURM, S.A. (2001). Contact Languages and the preservation of endangered languages. *Estudios de Sociolingüística*, 2(2): 1-12.
- ZANETTE, D.H. i MANRUBIA, S.C. (1997). Role of intermittency in urban development: A model of large-scale city formation. *Phys. Rev. Lett.*, 79(3): 523-526
- ZANETTE, D.H. i MANRUBIA, S.C. (2001). Vertical transmission of culture and the distribution of family names. *Physica A*, 295: 1-8.

