

ELS SISTEMES D'INFORMACIÓ GEOGRÀFICA : SITUACIÓ ACTUAL I PERSPECTIVES DE FUTUR*

David Rhind¹

RESUM: Els sistemes d'informació geogràfica : situació actual i perspectives de futur.

Els sistemes d'informació geogràfica (SIG) són sistemes informàtics amb els quals podem tractar dades de l'espai geogràfic o d'objectes situats en aquest (comarques, poblacions, propietats, límits de sòls, etc.). Des dels inicis dels '60, aquests sistemes ja suposen un xifra global de negoci d'uns 4 mil milions US \$ anuals; Europa està ben preparada per prendre'n una bona part si pensam que usualment és importadora de tecnologia.

La primera part d'aquesta ponència presenta una introducció elemental als SIG per a tots aquells que no estiguin familiaritzats amb el tema; la descripció es fa amb una terminologia accessible als que no tinguin gaire relació amb la geografia quantitativa. La segona part, naturalment, es refereix als problemes clau de la investigació. La major part de les grans inversions en el desenvolupament dels SIG s'han impulsat a partir de l'accés a les noves tecnologies o a partir d'aplicacions relativament senzilles, tot i que importants. No s'ha tengut prou en compte la imperfecció dels instruments analítics en els SIG. Es donen exemples de desenvolupaments tècnics que han facilitat l'anàlisi espacial en el si dels SIG. Per acabar, la ponència subratlla les conseqüències que per a la investigació i per a l'ensenyament té la manca d'una política governamental explícita en l'accés als registres de dades pagats pels contribuents.

PARAULES CLAU: sistemes d'informació geogràfica, anàlisi espacial.

ABSTRACT: Geographical information systems : present and future.

Geographical information systems are computer systems which handle data on geographical space or on objects (counties, people, properties, soil boundaries, etc.) therein. From beginnings in the 1960s, these systems already constitute a \$4 billion annual business globally; Europe is well placed to take a good share of it though currently is a substantial importer of technology.

The first portion of this paper provides a simple introduction to GIS for those unfamiliar with it; it is described in terminology suitable for those unfamiliar with quantitative geography. The second portion, however, addresses key research problems. The bulk of the massive investment in GIS development has been driven by the arrival of new technology or by relatively simple (if important) applications. Insufficient attention has been given to the inadequacy of analytical tools in GIS. Examples of technical developments which facilitate spatial analysis within a GIS domain are given. Finally, the paper points out the consequences for research and education of a lack of explicit government policy on the availability of data collected at the taxpayer's expense.

KEY WORDS: Geographical information systems, spatial analysis.

* Traducció de T. Albert Artigues feta, amb autorització de l'autor, a partir de l'original: *Geographical information systems : present and future*, presentat com a ponència al IV Coloquio de Geografía Cuantitativa, U.I.B., 25 - 28 ./09./1.990.

1. David Rhind és Professor de Geografia al Birkbeck College de la Universitat de Londres. Ha treballat en els Sistemes d'Informació Geogràfica d'ençà les darreries dels anys '60, tenguent un paper capdavanter en el planejament del projecte BBC Domesday, així com en el Sistema d'Informació Nacional On-line Manpower, al SIG mediambiental CORINE de la Comunitat Europea i en la programació emprada pel Cens Britànic de Població de 1.981. És vicepresident de l'Associació Cartogràfica Internacional, Secretari d'Honor de la Reial Societat Geogràfica i President del Comité Científic del Servei Oficial de Topografia i Cartografia de la Reial Societat.

La geografia a través dels SIG

Com la història, la geografia sempre està present en la nostra vida. La major part de les decisions que adoptam són limitades, dirigides o controlades per factors geogràfics. Així, escollim quina ruta seguirem basant-nos en el nostre coneixement de les condicions del trànsit en moments determinats per a les possibles carreteres; planejam la creació de noves places escolars (o el tancament d'altres) a partir dels canvis que es registren a les poblacions locals; predeim l'alternança en el poder conferida pels resultats electorals i matisam els sondetjos d'opinió nacionals amb el nostre coneixement del que és local; i elaboram amb els nostres models variacions espacials, com les de la coberta forestal, per exemple, per predir les futures condicions medioambientals.

Tot això és obvi i gairebé inconscient. Però allò que és nou és que ara podem fer tot el que abans dèiem amb un tractament quantitatiu, no de manera instintiva, sinó a partir de l'ús d'un simple conjunt d'eines anomenades Sistemes d'Informació Geogràfica. Són, dit de manera planera, sistemes informàtics que ens permeten emmagatzemar, classificar, manipular, enllaçar, analitzar i presentar dades referents a l'espai geogràfic. A la pràctica, els SIG s'entenen no tot just com l'aparell informàtic i el programa, ans també com les bases de dades geogràfiques i l'esma personal per manejar el sistema.

La millor manera de comunicar el concepte i la realitat d'un SIG és estudiar els usos en els quals es pot aplicar per a un conjunt de qüestions generals. Si anam al detall, les següents qüestions són sovint temes diaris per a moltes de seccions dels governs central i locals, per al comerç i d'altres sectors:

<u>Pregunta</u>	<u>Tipus de feina</u>
què hi ha a ...?	inventari
com anar de... fins a ... ?	recerca de rutes
on és cert que...? (o on no ho és?)	inventari
què ha canviat d'ençà ...?	inventari
quin (s) principi(s) espacial(s)	
hi ha a... ?	anàlisi espacial
qué passa si ... ?	modelització

La primera d'aquestes qüestions es planteja per assabentar-se d'allò que existeix en una localització concreta. Podem descriure la localització de distintes maneres, per exemple, donant-li un nom, amb el codi postal, les coordenades geogràfiques o, al Regne Unit, les coordenades de la xarxa del Servei Nacional de Topografia i Cartografia. La segona qüestió és una ampliació de la primera: donades dues localitzacions concretades de qualsevol manera que siga correcta, la tasca és trobar un camí amb algunes característiques específiques (rapidesa, menor distància, les millors qualitats paisatgístiques, ...) que enllaci les localitzacions.

La tercera pregunta és la inversa de la primera i suposa rastrejar l'espai geogràfic per trobar on s'acompleixen certes condicions, per exemple, on trobar un llac de pesca sense cabina telefònica que no estigui a més de 50 km de casa!. La quarta qüestió pot basar-se en qualsevol de les altres tres, però cerca trobar les diferències entre les dades per a dos moments distints.

Les qüestions cinquena i sisena són més sofisticades. Per poder donar resposta a la cinquena, podem voler saber si hi ha alguna agrupació entre les dades d'òbits per càncer i la residència en una àrea propera a una central nuclear. En tant que és important, voldrem saber quantes anomalies no segueixen el principi i on es localitzen. Per acabar, la sisena pregunta cerca determinar que ocorre —per exemple— si afegim una nova carretera en una xarxa viària o si hi ha una fuga d'una substància tòxica en el nivell freàtic: pel seu caràcter, és una pregunta que ha de constestar-se fent una investigació que requereix informacions geogràfiques i d'altres tipus, tals com "lleis determinístiques" o probabilístiques.

Els SIG tenen dos trets que faciliten aconseguir respostes a aquestes qüestions. El primer és la capacitat per poder aplicar operadors espacials a les dades. Un exemple podria ésser georeferenciar tots els crims d'un tipus dins l'àrea d'una autoritat local (fent-ne la comparació amb la incidència en una àrea d'una autoritat superior dels cossos de seguretat). Un altre cas pot ésser sol·licitar un mapa de totes les destinacions que poden ésser enllaçades conduint una hora des del punt d'arribada del Tunel del Canal. Resumint, qualsevol d'aquests conjunts als quals aplicar el "bisturi" per disseccionar l'espai i extreure'n i tabular tota la informació que sigui d'interès.

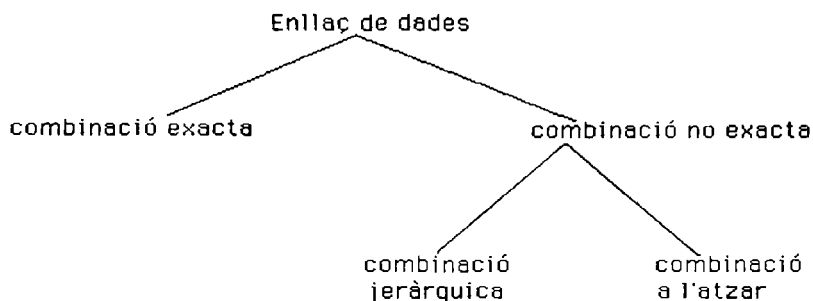
La segona característica és la capacitat per agrupar dades en un únic conjunt. Constitueix un tret essencial, ja que les dades sovint són recollides per distintes organismes que apliquen en la recopilació els seus propis criteris sense parar esment en d'altres possibles usos (això és particularment cert pel que fa al Regne Unit i tal volta ho sigui manco en d'altres països europeus). Suposem que volem investigar les variacions al llarg d'un país que hi ha en la incidència de la morbiditat per càncer entre els nins menors de deu anys. Per fer-ho, treballarem amb les dades de cadascuna de les comarques ("counties" a l'orig.) del país. Suposi's també, com pot ésser usual, que tenim les dades de població segons la seva estructura per edats de cada comarca en un fitxer informàtic i les dades de defuncions per edats a cada comarca en un altre fitxer. Necessitam combinar o enllaçar dos fitxers de dades. Un cop això està fet, la divisió d'una xifra per l'altra en la mateixa comarca ens dóna la resposta desitjada.

Si tot això pot semblar massa trivial — i que no n'hi ha per tant de fer ús d'un SIG —, diguem que no sempre serà així. Consideri's les diferents maneres amb què el conjunt de dades pot ésser enllaçat (vegeu la figura 1). “La combinació exacta” és l'operació abans descrita. L'operació per combinar els dos conjunts de dades és fàcil i es resol amb l'ús d'una clau que siga comuna als dos fitxers (per exemple, el nom de la comarca). D'aquesta manera la dada anotada a cada fitxer amb el mateix nom comarcal pot extreure's, juntar-la amb l'altra corresponent i la resultant enmagatzamar-la en un altre fitxer.

El que resulta més significatiu és que els SIG poden fer totes aquestes operacions perquè empran l'espai geogràfic com la clau comuna a ambdós conjunts de dades: les parts més significatives dels dos conjunts d'informació s'enllacen quan es refereixen al mateix espai. A aquesta propietat, n'hi hem d'afegir una altra: a partir de vint conjunts de dades, podem produir 190 parells de dades i, en total, més d'un milió de combinacions possibles. És de més dir que moltes d'aquestes no tendran gaire significació, però el nivell d'aplicacions és inevitablement molt més extens que el que es posseïa a partir dels vint

- figura 1 -

Distints procediments per enllaçar dades geogràfiques emprant l'espai com a clau combinatòria



Per altra part, a vegades algunes informacions es poden aconseguir per àrees més específiques (o reduïdes) que per d'altres. És molt freqüent que les dades recopilades (per exemple, les de finances o les d'atur) només siguin disponibles per a grans àrees i menys sovint les dades recollides estan a l'abast per a zones molt més petites (per exemple, les del Cens de Població). Si les àrees menors encaixen de manera ben exacta dins de les majors, la solució és emprar la combinació jeràrquica: afegir les dades de les àrees menors fins que les àrees així agrupades donin la combinació exacta per a l'àrea major total.

En moltes d'altres ocasions pot ocórrer també que les àrees menors no encaixin exactament dins de les majors. Això és particularment cert quan es tracta de dades medioambientals. Els límits dels conreus, per exemple, molt sovint es defineixen pels de les parcel·les, i aquestes rarament es combinen amb el límit del tipus de sòl. Si volem donar resposta a preguntes com: quins sòls són els més productius pel conreu de blat, necessitem superposar els dos conjunts de dades i calcular quina productivitat de conreu hi ha per a tots i cadascun dels tipus de sòl. Inicialment això és com col·locar un mapa en paper vegetal damunt d'un altre i anotar les combinacions de sòl i productivitat de conreu.

conjunts de dades originals preses aïlladament. Si això pot semblar senzill, de fet no ho és tant: el volum de dades implicades, l'atzarós de moltes de les dades geogràfiques, l'elecció dels mètodes aplicables que poden donar diferents resultats i la necessitat de fer tot això econòmicament i amb límits molt estrictes de temps fa que la pràctica dels SIG sigui molt més complexa que el seus principis. El gran avantatge, d'altra banda, és que les mateixes eines (SIG) poden emprar-se a tot arreu i per una varietat d'aplicacions que va de la microescala amb què es tracten els edificis o els carrers fins a l'escala global - i això molt més encara quan aquestes eines es combinen de distintes maneres com si fosin elements d'una joguina de peces per a muntar. Per acabar, diguem que molt sovint els SIG s'empen per a elaborar mapes tot i que no només són enginyers cartogràfics; és millor conceptualitzar-los com a bases de dades geogràfiques a partir de les quals podem extreure resultats expressats de distintes maneres, entre les quals els mapes en són una.

El desenvolupament dels SIG

Avui en dia els sistemes d'informació geogràfica són un dels principals negocis internacionals. D'ençà la creació del primer veritable SIG al Canadà als '60

fins a l'estrena del primer dels sistemes comercials sofisticats a principis dels '80, la major part dels treballs en aquesta àrea han tengut lloc en els laboratoris d'investigació universitària. El Regne Unit durant aquesta fase va fer contribucions significatives, particularment mitjançant el NERC de la Unitat de Cartografia Experimental (ECU) que fou establerta després de l'estímul donat per la Reial Societat ("Royal Society" a l'orig.) al 1.968. Per altra part, d'ençà 1.980, el mercat dels SIG ha tengut un desenvolupament explosiu. La raó més destacada perquè així hagi succeït ha estat la ràpida disminució dels costos de l'equipament informàtic, descens que ha afavorit la pràctica del recull de dades en format informàtic. En conjunt, el cost de la capacitat informàtica ha davallat un ordre de magnitud cada sexenni durant els darrers trenta anys; d'aquest mode allò que amb el més avançat dels equips actuals costa una lliura esterlina per ésser procesat, tenia, quan s'implantà la Unitat de Cartografia Experimental (ECU), un cost en torn de les 10.000 lliures esterlines. De fet, els recents progressos a les estacions de treball científiques han millorat més ràpidament encara la situació. Com a resultat, el balanç costos / beneficis ha canviat intensament i el mercat ha respost.

Una recent investigació nord-americana ha suggerit que el volum del mercat global al 1.988 pels equipaments informàtics, programes i serveis de SIG fou de 529 milions de US \$, el 60% dels quals corresponien als Estats Units. Però això només és el centre del negoci : d'altres despeses en equipament, serveis, etc, generats per aquest nucli del negoci arribaren en el mateix any a una despesa total de SIG al voltant dels 4 mil milions de US \$. Més important és encara que l'increment anual esperat es pot situar en torn del 22 % fins a arribar a uns 11 mil milions de US \$ al 1.993. Un altre informe, aquest elaborat a partir d'una enquesta pagada per deu venedors mostrejant usuaris que eren o foren part de les seves llistes de vendes., ve a dir que el mercat europeu tot sol al 1.989 suposà 322 milions de US \$; la major part gastats per empreses i òrgans de govern central i local tot i que quasi el 9% d'aquesta despesa es destinarà a aplicacions medioambientals. L'enquesta també xifra el creixement anual per sobre el 20 % i prediu un total anual al 1.991 de 546 milions de US \$. A hores d'ara, Europa és fonamentalment un importador d'equipament i programes dels Estats Units malgrat que empreses com InterScan i SmallWorld estiguin subministrant gran innovacions en programes que funcionen en equips nord-americans. Tots els indicadors estadístics vénen a assenyalar que, a Europa al manco, el Regne Unit i els Països Baixos són, de lluny, els principals usuaris i desenvolupadors de SIG, mentre que el principal mercat és Alemanya. Curiosament, França avui dia està endarrerida.

Una via on el Regne Unit ha estat capdavanter és la de la implicació oficial en el desenvolupament dels SIG i el seu futur. Per exemple, al 1.979 el Comitè governamental per a la revisió del Servei Oficial de Topografia i Cartografia dedicà només un capítol del seu informe a la cartografia digital, cartografia que se centrava en el dibuix de mapes amb ordinador, la qual cosa era senzillament mimetitzar el procés cartogràfic tradicional; a penes han aparegut usos alternatius amb les mateixes dades. Al 1.984 el Comitè d'Experts en Tecnologia i Ciència de la Cambra dels Lords, estudiant els temes de la cartografia digital i la teledetecció s'adonà no només que es tractaven d'arcs d'estudi complementàries, ans a més que el paper de les dades geogràfiques anava més enllà d'allò que ateny als científics d'ambdós camps considerats per separat. Com a conseqüència de l'informe de la Cambra dels Lords fou creat un Comitè governamental per a la investigació, el qual amb el seu informe de 1.987 "En torn de la informació geogràfica" (en honor del seu president, altrament dit "Informe Chorley") alterà profundament la consciència d'allò que podia esdevenir com a possible — no just al Regne Unit, ans al món sencer—. Una altra conseqüència fou la fundació de l'Associació Britànica de la Informació Geogràfica, quelcom així com un "paraigües" sota el qual s'aixopluguen molts d'interessos, des del sector comercial, passant per les institucions, fins als professionals i gent de l'àmbit universitari. Més significativament, ajudà a difuminar les línies de demarcació entre les distintes disciplines implicades : nombrosos grups de geògrafs, geòlegs, topògrafs, experts en informàtica, tècnics en teledetecció i científics medioambientals i socials, a hores d'ara estan treballant conjuntament en una gran varietat de projectes per desenvolupar els SIG o fent-ne ús d'ells.

Algunes aplicacions dels SIG

Son nombrosíssimes les possibles aplicacions que hauríem de descriure. Algunes de les més "curioses" ("most exotic" a l'orig.) es donen en el camp militar tot i que la més universal potser sigui l'aplicació per a sistemes de conducció automatitzada de cotxes desenvolupada avui ja per algunes indústries. Per descomptat que, al Regne Unit al manco, les majors despeses en SIG s'han fet per part dels organismes que gestionen infraestructures públiques. La Companyia Britànica de Gas ha contractat un DEC i un LaserScan per aconseguir un sistema d'emmagatzament de registres amb un cost de 40 milions de lliures esterlines. De forma ben característica, els organismes d'infraestructures públiques acumulen informacions de les seves instal·lacions —en el cas de la Companyia de Gas 1'65 milions de quilòmetres de tubs, per exemple— en forma de línies i textos transcrits a mapes topogràfics fets a

gran escala. Aquests mapes aviat queden desfasats pel propi ús que se'n fa; d'aquesta manera per a cada tipus d'infraestructura s'haurien de menester a nivell nacional més de 100.000 mapes distints i cada mapa hauria de refer-se cada nou o deu anys, amb la qual cosa s'ha de posar en marxa un fabulós esforç cartogràfic. Inevitablement poden ocórrer errors de comissió i d'omissió. Per evitar tot això, les companyies d'infraestructura pública volen aconseguir els mapes topogràfics en modalitat informàtica i transformar els seus propis registres en un magatzamament digital. D'aquesta manera aquestes dades poden cartografiar-se renovadament per sobreimpressió, amb una posada al dia quan convengui i amb un mínim cost. Fins hores d'ara, el Servei Nacional Topogràfic té disponibles 60.000 mapes en format informàtic i —seguint la recomanació de l'Informe Chorley— la major part del material que manca es podrà aconseguir en els propers quatre o cinc anys.

Arreu del món, les funcions de registre i planejament a activitats tals com l'explotació forestal tenen més aplicacions que es poden resoldre amb els SIG. Afegim que són molts els països que tenen o preparen sistemes cadastrals i de registre de la propietat en base SIG. A Sud-Austràlia, per exemple, el sistema de registre de la terra ha d'afrontar fins a 14.000 entrades per dia. Al Regne Unit, el Reial Registre Cadastral actua amb principis distints (les anomenades "fronteres generals") però l'apertura del registre al públic sens dubte ampliarà la necessitat d'emprar un SIG que ja s'està experimentant.

Una àrea d'aplicació dels SIG en ràpida expansió és la distribució de productes i serveis i la localització òptima de recursos. Moltes empreses ofereixen ara informacions del tipus de gent que viu a petits districtes, cadascun de cent o dos-cents veïns. Basant-se en informacions com aquesta, extreta del Cens de Població i d'altres fonts, es distribueix molta de publicitat per correu i les primes de les assegurances, per exemple, poden ajustar-se a certes condicions espacials. En casos molt concrets, la distribució s'efectua emprant informacions d'individus (al Regne Unit derivades d'una diversitat de fonts com el Cens Electoral, per exemple), tot i que sovint el Registre Britànic de Dades sovint entra en disputa amb els principals proveïdors d'aquest tipus d'informació. L'avantatge que proporciona el SIG és que, emprant dades mínimament agregades, no es fa precís emprar-les individu per individu.

Un darrer exemple ve donat de l'altre extrem en l'espectre de l'escala. El control i modelat del medi ambient és hores d'ara un tema de creixent importància. Les dades recollides per satèl·lit són només el primer esglaó del procés: aquestes dades han de calibrar-se i enllaçar-se amb d'altres si es vol aconseguir el màxim profit. Per exemple, per a determinar el usos del sòl al comtat de Kent, la utilització

aïllada de les dades obtingudes per satèl·lit ofereix una precisió només en torn del 65 - 70 %; combinant-les, però, amb les de població, aconseguides de fonts oficials, i emprant aquestes com un filtre, s'obté un increment d'aproximadament el 20% en la precisió aconseguida. Generalitzant, necessitam sintetitzar les dades medioambientals d'una diversitat de fonts per tal de poder extreure'n resultats en la investigació científica o en l'assessoria d'impactes segons la política aplicada. Un bon exemple de com pot dur-se a terme tot això és el projecte CORINE de les Comissions Europees que va ésser el precedent de l'Agència Europea pel Medi Ambient; més de 40 projectes, molts d'ells elaborats amb dades dels dotze països de la Comunitat, formen el mecanisme amb el qual el SIG medioambiental fou completat i assajat. A part d'aquest paper pràctic de la Comissió, a través d'aquest projecte s'han demostrat els inconvenients concrets que es poden derivar d'alguns conjunts de dades i la necessitat d'harmonitzar els conceptes i els mètodes de recollida de les dades medioambientals. En una escala més àmplia, el Programa Medioambiental de les Nacions Unides prepara un SIG global anomenat Banc de Dades per a la Informació Global dels Recursos, en el qual moltes dades han estat proporcionades per la NASA i els distints centres nacionals que han produït subconjunts de dades regionals que són emprades pels governs i els investigadors. Per exemple, al Regne Unit, el Grup de Cambridge de la Unió Internacional per a la Conservació de la Natura ja ha subministrat moltes d'informacions particulars de la flora i la fauna d'arreu del món en el seu SIG.

Ciència, investigació geogràfica i SIG

De llarg, totes les descripcions dels SIG suggereixen que es tracta d'una tecnologia que permet aplicacions molt diverses, derivada de la recerca matemàtica així com de la investigació dels geògrafs i d'altres científics, però que, a hores d'ara, suposa ja un ús quasi rutinari. En alguns casos, particularment quan s'han de menester anàlisis sofisticades, això darrer està ben lluny d'ésser cert del tot. Actualment, per exemple, podem dir en veritat que no tenim mitjans per valorar fins a on són fiables els resultats que sorgeixen de la combinació d'alguns conjunts de dades. Partim de què tots els conjunts de dades contenen alguns errors i necessitam saber fins on podem confiar en conclusions que poden derivar-se dels resultats. A més, els SIG contemporanis són prou distints del mode d'operar que tenim els humans; així, i a diferència de nosaltres, aquests sistemes no treballen amb "metadades", entenen per tals les dades referents a les mateixes dades. Per donar resposta a investigacions senzilles, fins i tot amb un alt nivell de generalització, s'han de dur a terme

processaments molt detallats — quasi com si els únics llibres a l'abast en una biblioteca fossin els textos especialitzats més que no una barreja d'aquests amb diferents nivells de detall.

Les aplicacions dels SIG en un nivell elemental, llavors, són un lloc comú (incloent-hi les tasques de registre i d'inventari). Però és prou ressenyable el petit ús que se'n fa per anàlisi i modelitzacions més sofisticades. La raó més clara per això —que els SIG siguin correntment eines d'ordenació de dades més que no per a l'anàlisi— és només part d'una problemàtica més general : que els mètodes més capaços per tractar les vagues dades geogràfiques² fonamentats en la teoria no existeixen, o es desconeixen, per aquests desenvolupaments dels SIG.

Tota hora que la convergència entre sistemes informàtics per a tasques burocràtiques i per a cartografia és creixent, i això ha esdevingut possible graciès als SIG, sorgiran moltes noves ocasions per a fer-ne anàlisi. En molts de casos, l'objectiu no estarà prou definit i es referirà fonamentalment més als fenòmens dels quals hi hagin dades que no a una altra forma d'investigació, més tradicional si voleu, amb uns objectius clarament definits. La creixent quantitat de dades georeferenciades, reals i generables, canvia el mode convencional que s'ha seguit fins ara en l'anàlisi estadística i en la modelització, particularment dins del context geogràfic però també en un de més general. El canvi es pot albirar per la implicació que hi ha entre la necessitat d'un *modus operandi* automatitzat i més exploratori amb una situació en la que cada cop hi ha més riquesa de dades, dades però orfes d'un marc teòric de referència. Des d'un altre punt de vista, l'èmfasi que històricament s'ha fet dels procediments deductius esdevé cada cop més difícil degut al predomini que tenen com a guia les dades en front a la direcció oferida per les qüestions teòriques, cada cop més discutides. Afegim a tot això, que la majoria de les dades geogràfiques són, sovint, per si mateixes difícils d'aprehendre; per exemple, les dades per a punts i zones definides de forma irregular són més complexes d'ésser analitzades d'una manera rigorosament matemàtica, diguem per cas, que no quan es tracta de les dades d'una xarxa generada a partir d'un enginy de teledetecció si es poden aplicar alguns criteris de simplificació (vegeu BESAG, 1.986). D'altra banda, també les dades geogràfiques sovint són molt poc "clares", i aquesta imprecisió correntment afecta a l'exactitud de resolució i representació, de manera que es fa difícil copsar-les. No es poden aplicar analogies amb errors de forma. A més, moltes d'operacions dels SIG sembla, a hores d'ara, que donen lloc a principis (o regularitats) espacials (per agregació amb el sistema de zonificació i com si fos una espècie de filtre detector d'aquesta regularitat). D'altres procediments

dels SIG (pensau en les superposicions) poden afegir nivells addicionals d'errada i també propagar els errors contaminant d'aquesta manera conjunts de dades que abans eren "clares". Probablement no hi ha gaire a fer per eliminar totes aquestes fonts i causes d'error geogràfic i estam en la incertesa a curt termini o fins i tot per sempre. Massa sovint, la vertadera magnitud i l'impacte d'aquestes dificultats s'entenen relativament poc. El que si està prou clar és la necessitat de dissenyar mètodes d'anàlisi que ens facin capaços de tractar aquests problemes abans que no de senzillament ignorar-los tots alhora.

Aquests i d'altres problemes endèmics caracteritzen de forma tan important les dades geogràfiques que han deixat un gran buit entre allò que l'estadística geogràfica (entesa des d'una perspectiva estadística) pot oferir i allò que aquesta estadística geogràfica (contemplada des d'una perspectiva de SIG) necessita per ésser capaç de donar resposta a les demandes usuals d'aquests sistemes. El tractament de les dades geogràfiques aconseguirà el seu potencial només si es combinen l'esma estadística formal i la comprensió de les dades en brut i dels problemes del món real.

Tractarem d'exemplificar aquests temes referint-nos a dos casos : una tècnica d'agregació òptima i un enginy d'anàlisi automatitzada de dades puntuals. En els dos casos mantenim que el veritable progrés només es pot aconseguir tenint ben present el que de geogràfic tenen els problemes i intentant moderar les necessitats de tractament estadístic o matemàtic amb la realitat geogràfica. Molt del treball estadístic previ que es fa en Geografia suposa un grau tal d'abstracció que fa que els resultats no siguin aplicables.

Una tècnica d'agregació òptima

D'ençà dels anys '20 és té coneixement del problema anomenat MAUP: problema d'unitat de superfície modificable. Malgrat això, és una qüestió que fins fa poc va ésser menyspreada com a un assumpte estrictament teòric de poca transcendència perquè ningú no sabia que s'hi podia fer. Ressorgí quan les dades per a un nivell de resolució espacial (tant si és un conjunt de zones com si ho és de dades puntuals) eren agregades a un altre nivell (suposem un ampli conjunt de zones o anant des d'un conjunt de dades puntuals fins a un sistema de zonificació). Aquesta transformació pot canviar l'escala i la resolució de les dades, ampliant-ne els principis existents, i fins i tot creant nous principis espacials que són la conseqüència directa de la interacció entre les dades que han estat agregades i les propietats del sistema de zonificació emprat a l'agregació. Abreujant, les dades es modifiquen, sorgeixen noves relacions i les velles canvien, i es transformen els principis cartogràfics. L'extensió d'aquests efectes d'escala i d'agregació bàsicament encara són poc

coneguts però, en casos ben concrets, poden identificar-se tant amb estudis de simulació (OPENSHAW i TAYLOR, 1.979) com amb estudis empírics (OPENSHAW, 1.978, 1.984, 1.987). També s'ha posat a punt alguna investigació estadística però tendeix a centrar-se només en el problema d'escala més simple (modelitzant les relacions com el nombre de canvi de zones d'una manera jeràrquica tancada) ignorant el que és més complex — i a més, la major font d'incertesa — del procés d'agregació (suposem, quina de les diverses agregacions alternatives s'ha d'emprar per passar de les zones petites N a les més amples M; en aquest sentit vegeu ARBIA, 1.985).

La disponibilitat dels SIG ha fet a hores d'ara que allò que abans era un problema purament teòric tenguí una gran significació. Els SIG donen a l'usuari l'oportunitat, sense límits, de dissenyar els seus propis sistemes de zonificació; abans, les zones emprades pels informes estadístics tendien a reflectir els límits administratius, de manera que quasi mai eren neutrals, ben definides ni comparables. Si la definició de les zones d'influència determina els resultats de l'anàlisi espacial de les dades zonals, llavors cal dedicar molta cura i atenció al disseny conscient i al funcionament d'aquests sistemes de zonificació. La qüestió és fer-ho de la millor de les maneres possibles.

Hi ha dues aproximacions bàsiques. La primera és emprar els mètodes de regionalització per tal de dissenyar les agregacions de les quals coneixem les propietats. L'altra implica un procés d'estimació combinada en què l'agregació emprada és estimada com una part del procés d'anàlisi estadística, de manera anàloga al model de conjunt de paràmetres. La primera és la regionalització clàssica, desenvolupada amb propòsits descriptius pels geògrafs d'ençà el 1.945: l'abast de dades per a zones reduïdes ara cobra nova vida en l'interior del que abans era una poc presentable i esmorteïda metodologia. Parlem dels exemples clàssics referits al disseny de regions funcionals, sistemes usualment urbans, i mercats de treball (vegeu SFORZI et al., 1.986; OPENSHAW et al., 1.988). La visualització oferida pels SIG també ha d'entendre's que té algun valor. Abans s'hagués fet poc o gens de cas als possibles efectes del disseny de zona en la subseqüent anàlisi de les dades, amb l'excepció que hi ha al menys un conjunt de procediments de disseny de zones formalment i determinísticament aplicats. Les zones tenen característiques conegudes i en això resideix alguna justificació per a les propietats tengudes en compte. Clarament, aquesta estratègia necessita desenvolupar-se addicionalment i integradament en els SIG. La segona aproximació suposa un tipus més general d'optimització; en aquesta, el sistema de zonificació constitueix un conjunt de paràmetres desconeguts i aquests són estimats per optimitzar algunes funcions

objectives que s'empren per representar l'objectiu que el sistema de zonificació vol expressar. D'afegit el problema pot complicar-se amb la suma de limitacions tant en la natura de les zones enteses en si mateixes (per exemple, dimensió, forma, heterogeneïtat) i/o com en la qualitat de les dades que són generades (per exemple, les formes de distribució, la natura de les relacions, les assumpcions de l'autocorrelació espacial, ... etc.). OPENSHAW (1.987) ha revisat aquesta aproximació. Amb un exemple senzill n'hi haurà prou per demostrar tot el que això suposa.

Pensau en una àmplia base de dades espacials inscrita en un SIG. Suposau que les dades s'han agregat des d'un conjunt de zones reduïdes a un altre de zones més extenses (per exemple, municipis, districtes electorals o censals). Afegim als nostres pressuposts que el que volem és elaborar algun tipus de model espacial. Ara la qüestió arriba a l'estadi de com resoldrem el problema d'unitat de superfície modificable amb aquestes dades. El procediment estadístic corrent hagués procedit considerant les dades zonals com a fixes i llavors s'hagués centrat en el procés d'estimació estadística, tal vegada incorporant quelcom de geogràfic provant de fer servir els problemes de dependència espacial o emprant algun procediment de simplificació. Quan s'haguessen obtingut els resultats, com passa sovint, les conclusions s'haurien redactat per a gent que ha perdut totalment de vista la dependència que hi ha entre els resultats i els sistemes de zonificació que s'han emprat. Una àmplia gamma de procediments estadístics pateixen de semblants mancances. Per exemple, la utilització dels mètodes empírics Bayesianes per millorar la cartografia de taxes (consultau CLAYTON i KALDOR, 1.987) també adoleix de la mateixa dependència dels resultats respecte de l'escala i dels nivells d'agregació que s'empren. D'ençà que això s'assumeix com "la pèrdua de control de l'analista", la validesa dels resultats pot ésser posada en dubte i la utilitat del procediment estadístic pot ésser reduïda.

Pot trobar-se una aproximació en SIG més rellevant incorporant la selecció d'una agregació zonal en el procés d'estimació estadística. Una manera de fer-ho és optimitzar una funció comú manipulant simultàniament l'agregació zonal i el camp dels paràmetres d'estimació. OPENSHAW (1.978) va descriure com podia això resoldre's, però només és ara que, tenint a l'abast els SIG es pot completar el procés d'anàlisi. Per exemple, l'anomenada Tècnica de Zonificació Automàtica (AZP, a l'orig.) demanda una matriu de continuïtat que es pot aconseguir amb el tractament d'una cobertura topològica que demanda algun procediment per dibuixar els límits regionals produïts; ambdues són tasques molt senzilles per a un

SIG emprant estructures de dades adequades. L'optimització actual probablement requereix un gran ordinador per manejar l'optimització estocàstica basada en dependència simulada amb les limitacions derivades per les funcions de penalització. Mentre això és, ara per ara, un problema de capacitat informàtica, el fet és que allò que era difícilment possible fa deu anys pels conjunts de dades petites és, a hores d'ara, un problema menor fins i tot amb conjunts de dades extenses.

Cap a una anàlisi automatitzada de conjunts de dades puntuals

Un segon grup de problemes apareixen en tractar l'anàlisi de dades puntuals. Moltes de les dificultats i també de les oportunitats que es deriven dels SIG poden quedar ben reflectides aquí. Preniu en consideració el següent exemple: un metge se us acosta i us demana que us sotmeteu a una anàlisi per al seu registre de càncers. Les dades són correctes i s'han subministrat referències puntuals basades en els codis postals. El doctor vol conèixer si les seves dades sobre leucèmia mostren cap senyal d'acumulació i, si efectivament fos així, on en particular ha de parar més esment.

Una aproximació basada en hipòtesis s'ha d'excloure per manca de coneixença de l'etiologia de la malaltia. Virtualment tot és possible i res s'ha de deixar de banda. De fet hi ha un nombre infinit de possibilitats però probablement d'entre elles n'hi hauran que podran formular-se com a hipòtesis específiques; així que: per on o com començar?. Des d'una perspectiva geogràfica es fa necessari clarificar alguns significats en la recerca de dades per tal de poder tenir evidència que l'acumulació existeix però sense saber on cercar o què pot causar-la. Aquest tipus d'objectiu exploratori general, vagament definit i expressat de manera genèrica és probablement com ésser interrogat amb creixent freqüència de la mateixa manera que més i més conjunts de dades es posen a l'abast per a l'anàlisi. La natura "visible" de les dades geogràfiques i l'àmplia disponibilitat dels sistemes cartogràfics fan aquestes qüestions impossibles d'ésser esquivades.

En tant que les dades en el cas del món geogràfic real es refereixen als éssers humans, hi ha dues respostes raonables a aquests problemes. La primera és no fer res. D'aquesta manera, la incertesa locacional de les dades, la manca d'adequació de l'àrea reduïda basada en el cens de població de risc estimada, la potencialitat que pugui produir-se qualsevol resultat, i la manca de respostes ajustades a moltes de qüestions metodològiques, poden influir en els més prudents perquè no facin res per tal d'evitar el risc de fer qualque cosa. El buit de qualsevol hipòtesi probable i la necessitat de desenvolupar formes tal volta

innovadores de l'anàlisi espacial en un medi extern, en el qual el risc de cometre errors pot tenir molta d'importància, tendeix a justificar les postures més conservadores. Tal tipus de reacció, en certa mesura comprensible i tal vegada fins i tot justificable, no és de gaire consol pel metge que ens volia ajudar en el nostre exemple. No es poden defugir tan fàcilment les pròpies responsabilitats.

Inicialment la solució és senzilla: fer ús de la creixent capacitat de processament dels ordinadors per tal de desenvolupar noves formes d'anàlisi espacial que puguin abastir aquests volums de dades, les creixents exigències d'anàlisi de dades i els problemes metodològics lligats a l'anàlisi geogràfica dels embullats conjunts de dades del món real, sense fer, però, assumpcions insostenibles per tal de poder tirar endavant tractaments matemàtics o estadístics. Tenim una possible via d'atac si desenvolupam una tecnologia d'anàlisi geogràfica exploratòria més eficaç, automatitzada informàticament, que siga capaç de permetre'ns investigacions que ens duguin a les evidències de regularitat de manera efectiva i sense esbiaixaments. En la millor de les tradicions de la investigació³, les dades s'elaboren de tal forma que ens aconduexen sense error a saber si contenen evidència de regularitat. L'eina en concret és aquella que OPENSHAW et al. (1987) han batiat com a Enginy d'Anàlisi Geogràfica (GAM a l'orig.), tot i que també podem dir-li Aparell d'Exploració Geogràfica (GEM).

OPENSHAW i els seus col·laboradors dissenyaren un Enginy d'Anàlisi Geogràfica, el MARK 1 GAM, per tal d'analitzar les dades epidemiològiques de càncer, però, ja és clar, l'enginy pot tractar qualsevol altre conjunt de dades puntuals en una investigació que cerqui trobar evidència d'acumulació d'algun fenomen. La tecnologia bàsica és prou senzilla i fins i tot òbvia. L'objectiu és trobar àrees dins de la regió d'estudi on com hipòtesi general pugui refusar-se que la distribució de punts és alcatòria. La raó per un tal rebuig només pot ésser objecte d'especulació per part d'un expert en el tema en concret. La nostra tasca és proveir de la identificació locacional en la qual cercar rastres d'acumulació. La validació i ajustament estadístic dels resultats els contemplam com un estadi següent a l'anàlisi.

L'enginy MARK 1 GAM suposa el següent procés. L'objectiu és examinar totes les localitzacions puntuals que en una regió poden oferir evidència d'acumulació. Això s'aconsegueix cobrint la regió d'estudi amb una malla i dibuixant-hi cercles superposats, amb una àmplia gama de radis, al voltant de cada punt de la malla. Les dades es referencien en aquestes àrees circulars d'investigació i es fa una valoració d'on hi ha una forta evidència d'un gran nombre de casos dins d'un cercle de cert radi centrat

en un punt donat. Els cercles es dibuixen per cobrir extensament totes les possibles localitzacions puntuals, així com per aconseguir una acceptable aproximació discreta a la seva anàlisi i, el que és més important encara, per poder considerar errors de localització i/o de representació en les dades censals i del càncer que s'han referenciat als cercles. Amb una malaltia poc freqüent, com és ara la leucèmia, sovint té importància saber dins quin costat d'un límit circular s'inscriu un punt. De fet, pot assignar-se equivocadament per mor d'alguna errada geogràfica o per haver-lo assignat a una unitat superficial que s'encavalca en el límit. Amb petits desplaçaments dels cercles al llarg d'aquests casos, aquests efectes al manco poden identificar-se i ésser incorporats al procés d'anàlisi.

Una descripció més extensa la podeu trobar a OPENSHAW et al. (1.987). La primera prova amb el MARK 1 GAM (avui dia anomenat GAM 1) donà evidència d'una major acumulació de càncer en un àrea allunyada de qualsevol instal·lació nuclear. La causa pot ésser una forma de contaminació no nuclear o fins i tot factors socioeconòmics. El primer GAM 1 es desenvolupà com una tècnica de descripció geogràfica. Possibilitava una investigació comprensiva en una regió d'estudi complerta per a totes les localitzacions en les quals les hipòtesis nul·les podien refusar-se. Per descomptat que així mateix servia per remarcar la importància dels estris metodològics. La principal contribució va ésser incrementar la sofisticació d'una forma molt senzilla d'anàlisi espacial. Els interrogants que se suscitaren es referien a la propensió amb què les agrupacions tendien a presentar-se com a dades totalment aleatòries. Els cercles de superposició feien del GAM 1 un detector molt sensible de principis; de fet, tal vegada sigui massa sensible i tot just amplifica els principis aleatòris. El sentit comú suggeria que fos d'una altra manera, però un cop que es fa la pregunta ja es troba la resposta.

El problema ara és que el temps necessari per tornar a fer funcionar el GAM 1 per a un nombre raonable de conjunts de dades aleatòriament generades (diguem-ne 499); en aquest cas podien ésser 5.000 hores si fa no fa de temps de la unitat central de procesament (CPU). Malgrat tot, fins que no sigui possible estimar tots els errors del mapa del tipus 1, realment no tenim perquè creure els resultats.

Degut a la seva natura de retroalimentació, el GAM 1 ha mutat en dues variants : el GAM 1 + (Plus) que pot simular 500 conjunts de dades observades procesant-les repetidament però que, mercè a un acurat disseny de la programació, ha reduït el temps de procesament en torn dels 45 minuts amb un ordinador CRAY X-MP/48. En contrast, el GAM 2 no empra una malla de superposició, sinó una malla

amb rotació i amb desplaçament d'aquesta a l'origen, amb la qual cosa s'aconsegueix un nivell de sensibilitat semblant en l'anàlisi. El temps de procesament pel GAM 2 s'ha reduït de l'hora i mitja en un ordinador CRAY fins arribar als onze minuts. Ambdós mètodes ofereixen una mitjana de correcció dels resultats del GAM 1 per a diversos tests de significació amb observacions no independents (en el cas del GAM 1 Plus). Els resultats preliminars semblen donar validesa als principis generats amb el GAM 1. Diguem que l'error estimat del Tipus 1 pels resultats observats amb el GAM 1 en un conjunt de dades aleatòries és menor del 2 %. Per descomptat que amb això no n'hi ha prou per convèncer-se'n. La següent passa és reprocessar el procés complet amb distribucions de punts sintètics que s'ajusten al coneixement dels processos estadístics per investigar els nivells de capacitat i de sensibilitat.

Sembla que el procediment de GAM per a l'anàlisi automatitzada de dades puntuals duit a terme per OPENSHAW ve a anunciar una nova i important era en l'anàlisi espacial de dades en SIG. La idea fonamental - en quina proporció pot incorporar-se un SIG en un paquet d'anàlisi — esdevindrà sens dubte un lloc comú. Així mateix la tecnologia elemental del MARK 1 pot desenvolupar-se, amb seguretat, molt més i els aspectes estadístics poden fer-se molt més sofisticats. Això sembla indicar que l'alternativa "món real " a la ciència d' " anàlisis simples " és molt més complexa, una ciència suportada en els equipaments, de gran escala, en la qual els procediments informàtics intensius substitueixin les aproximacions analítiques i amb menys dependència de la importància de la imaginació humana, prioritzant el coneixement com la base de la inferència.

La defensa que feim d'aquests tipus d'aproximacions per a l'exploració de dades, facilitada per la disponibilitat dels SIG i pel baix cost dels equips informàtics, de cap de les maneres exclou el que de desitjable seria que hi hagués més amplis desenvolupaments en el terreny d'eines d'anàlisi estadístic tradicional lligades als SIG. Per exemple, la possibilitat d'extreure desagregacions geogràfiques simples dels conjunts de dades emprant altres conjunts de dades com a filtres (a les dades per àrees urbanes o rurals, mitjançant dades demogràfiques, ...) podria incrementar la capacitat explicativa dels procediments més tradicionals. Per descomptat, que l'assumpte és que els problemes "intractables" que impliquen grans volums de dades geogràfiques requereixen també un mínim de lligam amb la teoria o el desenvolupament d'una intensificació de la base teòrica. Si això darrer no es produeix, amb tota seguretat hi haurà un desaprofitament de les tecnologies existents i dels nous conjunts de dades, principalment per part d'aquells que no gaudesquin d'un mètode per poder valorar la

confiança dels resultats obtinguts a partir del seus SIG (vegeu HMSO, 1.987, i RHIND, 1.988).

Informació i dades com a mercaderies; qüestions polítiques

Malgrat la necessitat de millorar les tècniques analítiques per facilitar l'anàlisi geogràfica, hi ha una altra qüestió més prosaica com és el control i l'ús dels SIG. L'accés a les dades, al Regne Unit al menys, està començant a ésser el problema en tant que els departaments governamentals i les empreses comercials veuen incrementar la seva prosperitat amb el mercadeig d'un coneixement originàriament recopilat amb els diners dels contribuents. Una situació d'aquest caire, que depèn d'uns drets d'autor per assegurar que les vendes i els pagaments dels drets surten dels usuaris, és completament distinta de la que succeeix als Estats Units d'Amèrica, on el govern proveeix d'informació que és de domini públic. D'aquesta manera l'organisme nacional britànic per a la cartografia, el Servei Oficial de Topografia i Cartografia, sovint cobreix prop del 55 % de les seves despeses amb la producció dels seus mapes i bancs de dades i s'ha compromès amb el govern a arribar fins al 100 % (diguem de passada que aquest nivell d'autofinançament ja s'ha aconseguit amb els mapes i bancs de dades que fan servir els geògrafs i d'altres científics). De resultes, algunes empreses comercials de cartografia, abans que estar sotmeses al monopoli de l'organisme nacional de cartografia, han recopilat

els seus propis mapes de la Gran Bretanya a partir de les imatges de satèl·lit. Fets consemblants poden estar produint-se a d'altres països europeus.

Més greument, la majoria d'organitzacions universitàries simplement no poden fer front a les despeses previstes. De fet, és prou irònic que el Consell per a la Informàtica a les Universitats al Regne Unit, recentment hagi acordat una important compra de programes per a SIG a una empresa nord-americana que lidera el mercat de vendes d'aquests sistemes i de dades de la casa Bartholomew4, però que no hagi estat capaç d'arribar a un acord en termes equivalents amb el Servei Oficial de Topografia i Cartografia. Així, les universitats del Regne Unit tenen accés amb un cost molt reduït a les sofisticades programacions nord-americanes en molts d'ordinadors, així com a moltes dades valuoses recopilades pel sector privat, però no —al menys fins ara— accedeixen amb la mateixa facilitat al marc d'informació espacial del país subministrat per la pròpia agència governamental per a la cartografia. RHIND (1.990) ha criticat aquesta política oficial que condueix a una situació tan absurda. Tant si és per al desenvolupament dels SIG en general com si és per d'altres propòsits, resulta de tot punt imprescindible que hi hagi una política governamental coherent per subministrar les dades recopilades amb la despesa dels contribuents, més encara quan són per emprar en els sectors de l'ensenyament públic i de la investigació.

BIBLIOGRAFIA

Nota: aquesta llista de referència conté el material esmentat específicament al text i altres publicacions que proveeixen informació general o antecedents històrics sobre els sistemes d'Informació Geogràfica.

- ARBIA, G., 1985, 'The modifiable areal unit problem and spatial autocorrelation problem: towards a joint approach', *Metron* XL, 325.
- BESAG, J.E., 1986, On the statistical analysis of dirty pictures. *J.R. Stat. Soc. B*, 192.
- BURROUGH, P.A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, (Monographs on soils and resources survey no. 12), (Oxford: Oxford University Press).
- CHRISMAN, N.R., 1987, Design of geographic information systems based on social and cultural goals. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53, 10, 1367.
- CLAYTON, D., KALDOR, J., 1987, 'Empirical Bayes estimates of age - standardised relative risks for use in disease mapping', *Biometrics* 43, 671.
- COPPOCK, J.T. AND RHIND, D.W., 1991, The history of GIS. in Maguire D.J., Goodchild M. and Rhind D. W. (eds.) *Geographical Information Systems*, Talyor and Francis, London.
- CORBETT, J.P., 1975, Topological principles in cartography. In *Proceedings of the International Symposium on Computer Assisted Cartography, Auto Carto II*, (Reston VA: US Dept. of Commerce).
- GOODCHILD, M.F., 1988, The issue accuracy in global databases. in Mounsey and Tomlinson (eds.), op. cit.
- HERRING, J., 1978, TIGRIS: topologically integrated geographic information system. In *Proceedings of the Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography*, Chrisman, N.R. (ed.) Baltimore, Maryland, March 29 - April 3, 1987, (Falls Church, VA: ASPRS and ACSM).
- HMSO, 1987, *Handling Geographic Information*. (London: Her Majesty's Stationary Office).
- MARK, D.M., 1979, Phenomenon-based data-structuring and digital terrain modelling. *Geo-processing*, 1, 27.

- MOREHOUSE, S., 1985, ARC/INFO: A geo-relational model for spatial information. In *Proceedings of the Seventh International Symposium on Computer Assisted Cartography: Digital Representations of Spatial Knowledge*, Washington D.C. March 11-14, 1985. (Falls Church, VA: ASP and ACSM), p. 388.
- MOUNSEY, H.M. AND TOMLINSON, R.F., 1988, (ed.), *Global databases*. Taylor and Francis, London, August 1988.
- OPENSHAW, S., CHARLTON, M., WYMER, C., CRAFT, A.W., 1987, A Mark 1 Geographical Analysis Machine for the automated analysis of point data sets, *International Journal of Geographical Information Systems* 1, 335.
- OPENSHAW, S., WYMER, C., COOMBES, M.G., 1988, Making sense of large flow data sets for marketing and other purposes, *RRL Report 20*, CURDS, Newcastle University.
- OPENSHAW, S., 1978, An empirical study of some zone design criteria, *Environment and Planning A*, 9, 169.
- OPENSHAW, S., 1984, *The Modifiable Areal Unit Problem*, CATMOG 38, Geo Abstracts, Norwich.
- OPENSHAW, S., 1978, The aggregation problem in the statistical analysis of spatial data, in CONVEGNO 1978, *Informazione ed analisi statistica per aree regionali e subregionali*, Perugia, Galeno p 73-83.
- OPENSHAW, S., 1988, 'Building and Automated Modelling System to explore a universe of spatial interaction models', *Geographical Analysis* 20, 31-46.
- PEUCKER, T.K. and CHRISMAN, N., 1975, Cartographic data structures. *American Cartographer*, 2, 1, 55.
- PEUQUET, D.J., 1984, A conceptual framework and comparison of spatial data models. *Cartographica*, 21, 4, 66.
- RHIND, D.W., 1987, Recent developments in Geographic Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, 1, 3.
- RHIND, D.W., 1988, A research agenda for GIS. *International Journal of Geographic Information Systems*, 2, 1.
- RHIND, D.W., (1990) Topographic databases derived from small scale maps and the future of Ordnance Survey. in Foster M.J. and Shand P.J. (eds.) *The Association for Geographic Information Yearbook 1990*, 87-96, Taylor and Francis, London.
- RHIND, D.W. and MOUNSEY, H.M., 1989, The Chorley Committee and 'Handling Geographic Information'. *Environment and Planning A*, 21, 571-85.
- RHIND, D.W., ARMSTRONG, P.A., and OPENSHAW, S., 1988, The Domesday machine: a nationwide GIS. *Geographical Journal*, 154, 1.
- SFORZI, F., OPENSHAW, S., WYMER, C., (1986), 'I mercati locali del lavoro in Italia', *Seminario su Identificazione di Sistemi Territoriali Analisi della Struttura Sociale e Produttiva in Italia*, Roma, Dicembre.
- SMITH, T.R., MENON, S., STAR, J.L. and ESTES, J.E., 1987, Requirements and principles for the implementation and construction of large - scale geographic information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 1, 1, 13.
- TOMLINSON, R.F. (ed.), 1972, *Geographical Data Handling*, UNESCO/IGU Second symposium on geographic information systems, Ottawa, Canada. (Ottawa, IGU Commission on Geographical Data Handling and Processing).
- TOMLINSON, R.F., CALKINS, H.W. and MARBLE, D.F., 1976, *Computer Handling of Geographic Data: An Examination of Selected Geographic Information Systems*. Natural Resources Research Series XIII, The UNESCO Press, Paris.

NOTES

2. Empram aquí el mot "borrós" en un sentit de dificultat d'aprehensió; "fuzzy" a l'original. (Nota del traductor).
3. fa aquí l'autor una "humorística" referència al més popular dels investigadors britànics: Sherlock Holmes, doncs al l'original diu: "In the best Holmesian tradition ..." (Nota del traductor).
4. aquesta és una de les anomenades, si no la que més, firmes de cartografia al món anglosaxó. (Nota del traductor)