

LES NOVES EINES: CAP AL SEGLE XXI

Roman Arbiol, Josep Lluís Colomer, Ismael Colomina, Anna Lleopart i Maria Pla

Els mètodes i tècniques actuals per a la producció de cartografia són en bona part, i sense per això oblidar la importància dels avenços tecnològics que s'han produït en disciplines afins com la geodèsia i la fotogrametria, el resultat de la total consolidació de l'ús dels ordinadors en cada una de les fases del procés productiu, des de la compilació inicial d'informació fins a la consecució del producte final. L'objectiu que ha conduït a aquesta transformació ha estat aconseguir un sistema capaç de realitzar, ja sigui de forma totalment automàtica, ja sigui assistida, les tasques que es realitzaven de forma manual. Com a resultat de la implantació d'aquests sistemes, que permeten emmagatzemar la informació en suport digital, es disposa de cartografia informatitzada (cartografia numèrica o cartografia digital), fet que amplia el ventall de possibilitats d'explotació de la informació, tant des del punt de vista de l'usuari professional com del gran públic. En el primer cas, aprofitant el desenvolupament paral·lel d'eines informàtiques especialitzades que permeten gestionar i analitzar grans volums de dades geogràfiques (els sistemes d'informació geogràfica, SIG), ajuda als planificadors a realitzar les tasques d'ordenació del territori, als agents civils a coordinar i prendre decisions en situacions d'emergència o als empresaris a realitzar estudis de mercat o a gestionar les flotes de vehicles. En el segon cas, i lligat amb l'abaratiment del cost dels ordinadors personals, podem parlar, per exemple, de la disponibilitat d'atles electro-

nic de temàtica diversa o de guies de viatge multimèdia.

LA NOVA GEODÈSIA

La geodèsia proporciona el marc geomètric i físic, i les eines per a la georeferenciació de la cartografia. En general, la geodèsia estudia la figura i el camp gravitatori de la Terra, així com la seva variació en el temps. La figura de la Terra es descriu amb coordenades dels punts de la superfície del planeta. El camp gravitatori i la gravetat es descriuen mitjançant el seu potencial. El coneixement de la geometria de la superfície de la Terra i del seu potencial són bàsics tant per a la realització de la cartografia com pel seu bon ús. Cal conèixer la seva variació per comprendre processos dinàmics del nostre planeta com són els moviments de les plaques continentals o alguns efectes del canvi climàtic.

En els dos darrers segles i fins fa dues dècades, la geodèsia ha desenvolupat un cos de coneixements matemàtics, físics i d'enginyeria que han permès entendre els mecanismes i quantificar els paràmetres fonamentals dels seus problemes. Tanmateix, les limitacions de les tècniques de mesura han mantingut invariants els mètodes clàssics de la geodèsia durant decennis: observacions angulars; de diferències de nivell i opticoastronòmiques. La nova geodèsia o més aviat, els nous mètodes de la geodèsia, comencen amb l'aplicació d'avenços científics i tècnics als procediments d'observació: els satèl·lits artificials, la telemàtica i la mesura electro-

magnètica, per làser i microones, de distàncies. Aquests avenços, primer aïlladament i després conjuntament, han ampliat les aplicacions de la geodèsia. L'any 1974 es publicava el primer càlcul d'una xarxa geodèsica mundial a partir d'observacions fotogramètriques de satèl·lits. A la dècada dels anys seixanta es començà a treballar amb els distanciòmetres i a fer els càlculs amb ordinador.

Saltant ara del passat recent al present de la geodèsia és fàcil reconèixer com els satèl·lits del GPS (Sistema de Posicionament Global) són hereus de les tres tecnologies mencionades. El GPS s'ha convertit en l'eina principal dels geodesistes de finals del segle XX. Mesurant distàncies als satèl·lits del GPS i combinant-les segons els principis de la trilateració, podem determinar posicions amb una precisió que oscil·la entre 100 m i alguns mil·límetres segons el nivell de complexitat dels nostres equips i algorismes. A tall d'exemple, en espais a cel obert, amb equips de baix cost, podem determinar la nostra posició, instantàniament, amb un error d'uns 100 m.

El GPS es basa en una constel·lació de 24 satèl·lits que orbiten la Terra i que actuen com a radiofars a uns 20.000 km d'altura emetent senyals ininterrompudament. Si aquests senyals són processats adequadament, podem determinar vectors entre punts de la Terra amb precisions mil·limètriques. Això, per exemple, permet percebre i calcular els moviments de deriva dels continents i els moviments de l'escorça abans i després del grans sismes. De

fet, a Catalunya, coneixem la posició relativa d'alguns punts amb una precisió d'1 a 2 cm.

La nova geodèsia és, doncs, molt eficient. Pot construir infraestructures de xarxes geodèsiques més barates, més precises, més accessibles i més adaptades a les necessitats dels cartògrafs. Però també és molt eficaç perquè està inventant noves formes d'assolir els seus objectius fonamentals i noves formes de servir a les disciplines que, com la cartografia, en fan ús.

La geodèsia moderna ha creat conceptes com el posicionament cinemàtic, el posicionament cinemàtic en temps real, la gravimetria aerotransportada, la gravimetria, gradiometria i altimetria de satèl·lit, i les xarxes d'estacions permanents de recepció de senyals dels satèl·lits anomenades, també, xarxes permanents GPS. D'especial interès per a la cartografia són les aplicacions d'aquests conceptes a la determinació de trajectòries de vehicles com els avions equipats amb cambres fotogramètriques, a la determinació directa de coordenades sobre el territori, i a les determinacions d'alta resolució del camp gravitatori. La gran majoria d'aquestes aplicacions descansen en les xarxes

permanents GPS que enregistren les observacions dels senyals transmesos pels satèl·lits GPS i, juntament amb altres dades relacionades, les transmeten als usuaris en temps real o en diferit. D'aquesta manera, la navegació de precisió i el posicionament es simplifiquen enormement.

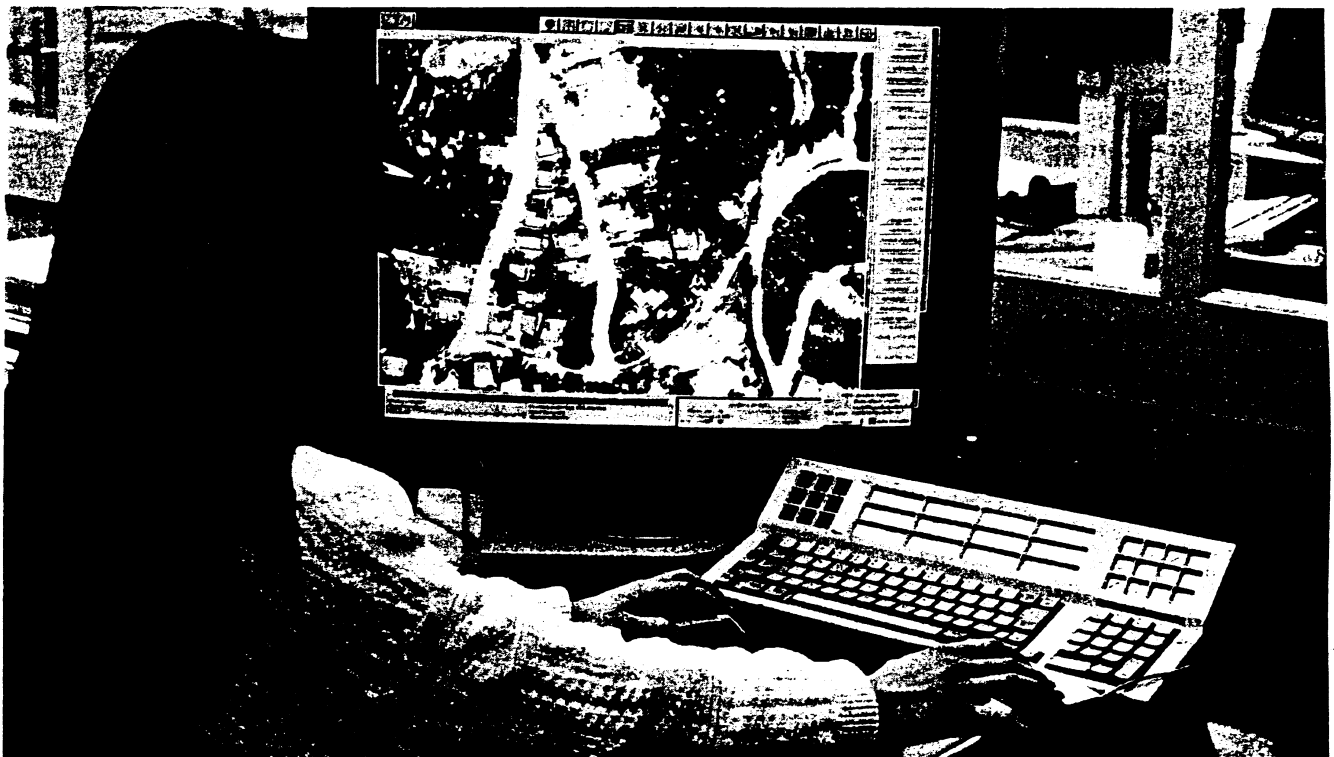
Finalment, cal subratllar com la geodèsia moderna continua aprofitant-se del ritme dels desenvolupaments tecnològics actuals, usant i integrant tècniques de satèl·lits, inercials, de la informació i de les telecomunicacions, dels sensors de teledetecció com el radar d'obertura sintètica i d'altres. La darrera i prou espectacular aplicació és l'ús de les xarxes permanent GPS per millorar la predicció del temps. En fi, la nova geodèsia és una eina renovada i millorada pels cartògrafs i, segurament, una eina encara desconeguda per a alguns dels seus futurs beneficiaris.

LA PRODUCCIÓ DE LA CARTOGRAFIA DE BASE

La fotogrametria: aspectes tecnològics

La fotogrametria és la disciplina que tracta de l'obtenció d'informa-

ció geomètrica (situació i forma) i semàntica (identificació i classificació) dels objectes del món real a partir de les imatges en dues dimensions. La seva aplicació principal és l'obtenció d'informació topogràfica de la superfície de la terra a partir de fotografia aèria i de punts de suport identificats sobre el territori i, molt recentment, d'imatge satèl·lit. Atesos dos fotogrames agafats des de punts diferents i de manera que tinguin una zona de solapament comuna, l'operador pot restituir la forma dels objectes fotografiats resseguint-ne amb un cursor el contorn observat estereoscòpicament en la zona comuna del solapament. L'efecte estèreo fa la sensació de profunditat necessària per tal de poder mesurar l'alçada. Fins al seu desenvolupament, la tasca de realització de mapes depenia de les eines de la topografia, treballant en contacte directe amb el terreny. Quan, a partir dels any quaranta i cinquanta hom va disposar de sistemes opticomecànics per eliminar les distorsions presents en les fotografies aèries verticals, la productivitat de la cartografia va fer un salt espectacular. Treballant en gabinet, hom podia dibuixar amb molta precisió les corbes de nivell



Estació fotogramètrica digital. L'efecte estereoscòpic s'aconsegueix mitjançant la visualització alternativa de les imatges digitals esquerra i dreta, sincronitzada amb un obturador en les ulleres que fa que la imatge esquerra només la vegi l'ull dret, i al revés.



L'ortofoto digital és fàcil de fer, si la comparem amb el mapa topogràfic, és barata i precisa. Això fa que sigui un complement als mapes existents, tot allargant-ne la vida útil.

que identificaven l'altimetria i els objectes presents a la planimetria explotant la possibilitat de veure el terreny en tres dimensions i utilitzant un parell d'imatges estereoscòpiques. Progressivament els sistemes per fer aquesta tasca es van anar sofisticant: primer afegint interfícies informàtiques que permetien digitalitzar les dades restituïdes i guardar-les en un ordinador, després afegint un ordinador al restituïdor per tal d'eliminar per càlcul les distorsions geomètriques del procés i facilitar-ne l'orientació; finalment digitalitzant la fotografia aèria i reconvertint els restituïdors en sistemes de procés d'imatges estereoscòpiques. Hem arribat al moment actual, en el qual la principal raó de ser de la fotogrametria digital va lligada al seu potencial per automatitzar moltes tasques manuals del treball fotogramètric. Cal remarcar aquí, però, que el grau d'automatització assolible és baix o nul quan la tasca a realitzar implica la identificació d'objectes con-

crets. Esmentarem a continuació les quatre tasques més rellevants i la seva situació.

La restitució fotogramètrica.

És en la restitució —la tasca semàntica per excel·lència— en què continuen havent-hi més dubtes sobre la superioritat de la tecnologia digital respecte de la tradicional. La compilació d'objectes topogràfics és difícilment automatitzable, i, per tant, els avantatges de realitzar aquestes tasques en un entorn digital complex i amb un gran maneig de dades, són menys perceptibles. Nogensmenys, la restitució digital es beneficia de la capacitat de visualitzar els objectes restituïts superposats a les imatges estereoscòpiques. El resultat és que poques vegades el control de qualitat retorna treballs per incomplets. Aquest estalvi compensa en part els majors costos operacionals dels sistemes digitals.

La realització de l'ortofoto digital.
Una ortofoto és una fotografia aèria

a escala exacta i corregida dels efectes de distorsió que introdueix el relleu i els moviments de l'avió en el moment en que pren la fotografia. Des de ja fa uns anys, l'ortofoto és el paradigma de l'automatització. Per la seva simplicitat, senzillesa i elevada productivitat, ha estat la principal valedora d'aquesta tecnologia, especialment a partir del moment en què també ha estat possible l'obtenció automàtica de les elevacions del terreny. Un altre factor d'èxit s'ha de buscar en la possibilitat d'aplicar tècniques ben conegudes de procés d'imatge, especialment les que augmenten el contrast de la imatge i els mosaics automàtics entre fotogrames. També han influït favorablement els avenços en el camp de la impressió electrònica.

Obtenció automàtica d'elevacions del terreny.

La generació automàtica d'elevacions del terreny ha estat durant gairebé una dècada un dels principals objectius de la investigació en foto-

grametria digital. Tot i els esforços, els resultats automàtics han estat acceptats només per a la confecció d'ortofotos digitals a escales no gaire grans i, en molt pocs casos, per generar corbes de nivell en projectes topogràfics en terreny obert.

L'aerotriangulació.

L'aerotriangulació és una tècnica que permet reduir el nombre de punts de suport que cal mesurar en el terreny. Comença amb la selecció de punts homòlegs en les zones de solapament, seguit de la mesura de les coordenades-foto d'aquests punts en les fotos en què apareixen (transferències de punts). Una vegada transferits, es realitza l'ajust d'un funcional, que en fotografia aèria són les equacions de colinealitat, que relacionen les coordenades del punt en les fotografies i en el terreny, així com els paràmetres d'actitud (angles) de la presa del fotograma. El resultat són coordenades terreny dels punts seleccionats i els paràmetres d'orientació de cada fotograma.

L'aerotriangulació automàtica, encara que no fa gaire temps que ha aparegut, i per tant es té poca experiència en l'àmbit de la producció, promet ser cinc vegades més ràpida que el procés manual.

Fonts d'informació: de la fotografia aèria als sensors aérotransportats

Com es dedueix de l'apartat anterior, la fotografia aèria ha estat fins al moment actual la font d'informació per excel·lència de la cartografia, però no és gens clar que pugui mantenir aquesta hegemonia en el futur. Els satèl·lits d'observació de la Terra poden ser una forta competència.

Els sensors multiespectrals.

Durant molts anys la fotografia aèria utilitzava l'emulsió B/N per a la seva feina, però amb els anys van aparèixer noves emulsions al mercat: el color natural o bé l'infraroig. Aquesta última, malgrat que a l'ull humà l'hi sigui invisible, és molt interessant perquè la vegetació té una resposta molt gran en aquesta zona de l'espectre. Aquesta capacitat de discriminar la intensitat de llum (radiació electromagnètica)

en zones de l'espectre es va estendre mitjançant els sensors multiespectrals, uns sensors electroòptics, que divideixen la radiació en bandes (de la mateixa manera que ho fa un prisma) i ho enregistren per separat.

Qualsevol objecte emet i reflecteix una radiació electromagnètica com a conseqüència de la seva interacció amb fonts d'energia pròpies o externes: cada objecte tindrà una resposta espectral que es coneix com a «signatura espectral». La resposta espectral d'un objecte situat sobre la superfície terrestre depèn de les característiques d'aquest objecte, de si és viu o no, de la seva temperatura del seu grau d'humitat, de les seves propietats dielèctriques, etc.

Avui els sensors multiespectrals poden constar de centenars de bandes, la qual cosa afavoreix la disposició de veritables corbes contínues que permeten diferenciar variacions molt subtils de la vegetació. És el que s'anomena sensors hiperespectrals, fins ara disponibles sols en avions però ara ja presents en alguns satèl·lits d'observació de la Terra.

Els satèl·lits d'observació de la Terra.

A partir de les imatges del planeta obtingudes pels satèl·lits del programa espacial americà a la dècada dels anys seixanta va resultar evident que contenien informació rellevant de la superfície de la Terra en general i dels seus recursos naturals en particular. Tot plegat va determinar la decisió d'iniciar un programa sistemàtic d'observació de la Terra que va conduir al programa LANDSAT. Aquesta família de satèl·lits va demostrar la seva utilitat en moltes aplicacions: seguiment de collites, control de la tala de boscos, detecció de zones contaminades, determinar les àrees afectades per incendis forestals, prospecció de minerals o petroli, etc.

Amb els anys, s'han anat posant en òrbita satèl·lits d'observació de la Terra amb sensors progressivament més sofisticats i amb resolucions variables que han permès desenvolupar totes aquestes aplicacions i d'altres. Aquests satèl·lits han estat també utilitzats en aplicacions de la cartografia, però tradicionalment no han competit amb les aplicacions

fotogramètriques per una qüestió d'escala.

Des de fa no gaire anys els satèl·lits també tenen capacitats estereoscòpiques i permeten extreure el relleu de parells d'imatges, però amb motiu de la lliure circulació de la tecnologia de captura d'imatges d'alta resolució des de l'espai, s'ha obert una carrera per tal de llançar satèl·lits d'observació de la Terra especialitzats en cartografia, que ara sí, competiran directament amb la fotografia aèria. El temps dirà si aquesta pretensió arriba a bon fi o no.

ELS MAPES ESTÀTICS I ELS MAPES DINÀMICS

Com ja s'ha apuntat a l'inici, el fet de disposar de cartografia digital, o, en un sentit més ampli, de bases de dades geogràfiques, fa que hom no s'hagi de cenyir exclusivament als mapes en paper, sinó tot al contrari, en certs àmbits professionals la disponibilitat de la cartografia en suport digital s'ha fet imprescindible. Els mapes impresos però, continuen essent documents necessaris. El procés de realització ha sofert també canvis importants i es poden preveure també canvis en la seva concepció.

Els SIG com a eina d'explotació integrada de la informació

Ens hem referit amb detall als mètodes, tècniques i fonts d'informació per a la producció de cartografia bàsica, com és la topogràfica i l'ortofotogràfica. Però disposem també d'altra informació del territori, de natura diversa, referenciada sobre la cartografia bàsica o de forma independent, obtenint per exemple les coordenades amb un receptor GPS. Tota aquesta informació s'integra en bases de dades geogràfiques, que es caracteritzen per contenir informació referenciada sobre el territori (georeferenciada) i formada per un component gràfic i uns atributs descriptius.

En els anys seixanta, paral·lelament als desenvolupaments exposats, es van posar les bases per als futurs desenvolupaments dels anomenats sistemes d'informació geogràfica (SIG). Aquests sistemes són capaços de gestionar i emmagatzemar grans

volums d'informació georeferenciada, així com de realitzar-hi anàlisis i modelitzacions complexes. Disposem doncs d'informació digital, estructurada en les bases de dades geogràfiques, i també de potents i sofisticades eines informàtiques per a la seva explotació integrada. A més, és important remarcar que, així com en els inicis es requerien potents ordinadors per al tractament d'aquesta informació, en aquests moments hi ha en el mercat una variada oferta d'aquests productes, els quals permeten cobrir les diferents necessitats de l'espectre de potencials usuaris.

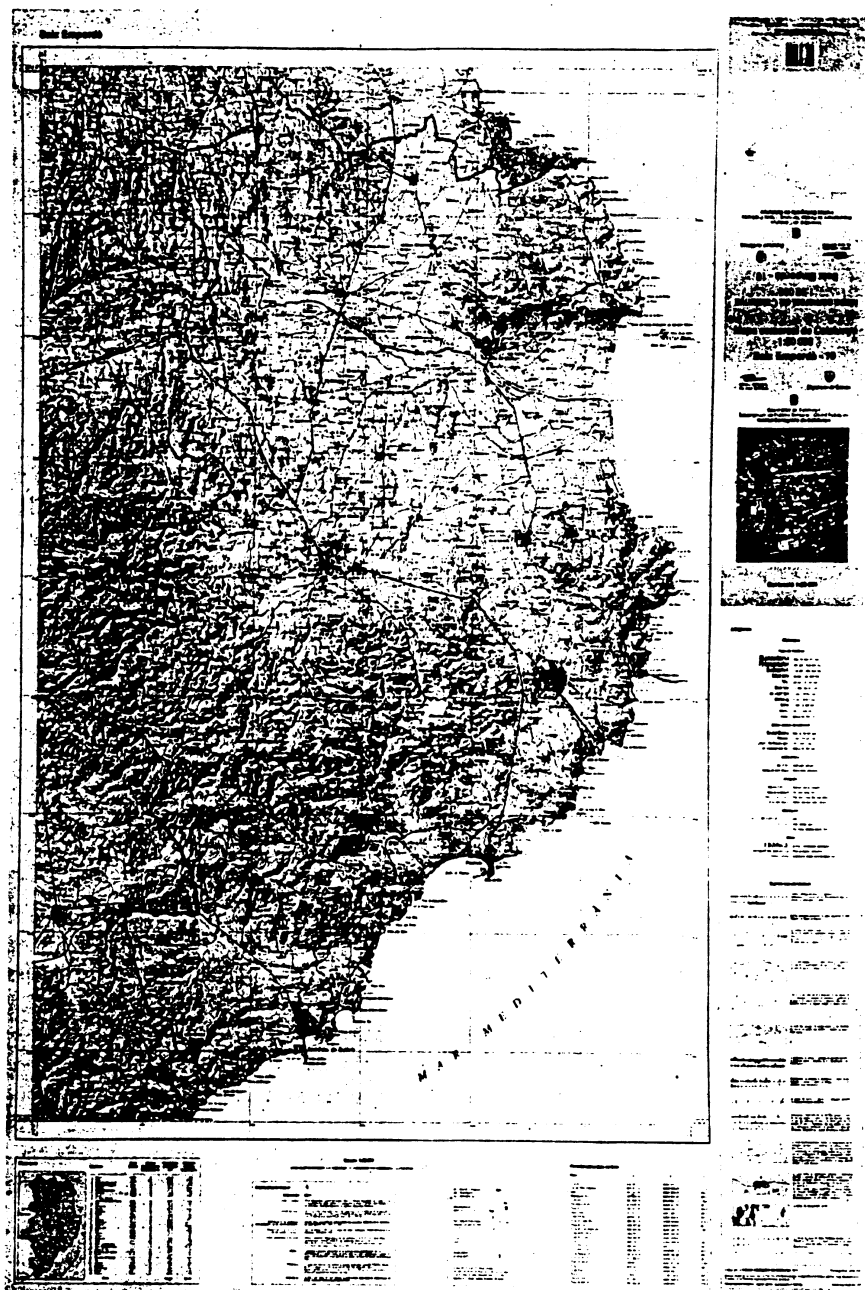
Els SIG ens donen una informació totalment dinàmica i adaptable a les necessitats. Podem seleccionar exactament el subconjunt de dades amb el qual hem de treballar; podem realitzar funcions d'anàlisi espacial i generar noves dades com a resultat de l'operació i el podem representar, ja sigui en pantalla o en un mapa. I tot això de forma sistemàtica, exhaustiva i extensiva a tot el territori. Apareix el concepte de «mapa a la carta», impressió electrònica del resultat d'una consulta SIG a la base de dades geogràfica.

Els mapes impresos

Els nous instruments per a la producció de mapes impresos estan estretament lligats al desenvolupament de la informàtica en l'àrea de bases de dades geogràfiques i en l'àrea de sortides de dibuix automàtic. Els avantatges més importants de l'ús de les noves eines són la disponibilitat de dades digitals i l'increment de la productivitat en l'obtenció dels productes cartogràfics com a conseqüència de la disminució de les tasques manuals.

L'aplicació de càlculs matemàtics sobre dades digitals permet automatitzar totalment processos cartogràfics com són els canvis d'escala o els canvis de projecció. En el cas de models d'elevacions del terreny permet la generació automàtica de corbes de nivell, ombrejats o corbes de pendent. Juntament amb l'aplicació de models estadístics ajuda, també, en l'obtenció de mapes temàtics.

Altres processos d'edició cartogràfica que també es poden beneficiar de les eines automatiques que usen



La producció de mapes impresos també s'ha beneficiat de l'automatització que han introduït els avenços tecnològics.

dades digitals són la selecció dels conceptes que cal representar en el mapa, la generalització de la informació, la simbolització que cal utilitzar segons la funcionalitat del document, l'actualització de la informació, la integració amb altres dades, la incorporació de la toponímia, el muntatge de llegendes, marcs o coordenades i la generació d'índexs toponòmics.

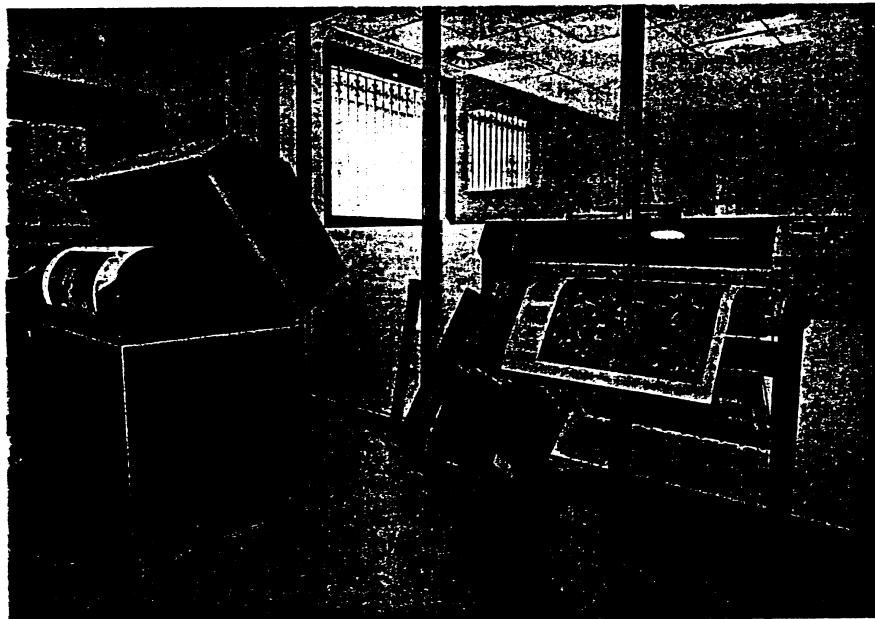
La facilitat de disposar de proves amb diferents tipus d'informació, diferents simbolitzacions o diferents tipus de sortida ha permès facilitar no només l'elaboració del mapa imprès, sinó també la fase inicial de disseny cartogràfic.

Un altre procés que ha experimentat un avenç considerable ha estat l'obtenció de sortides gràfiques amb traçadors automàtics. N'hi ha de diversos tipus segons el material o la tecnologia que utilitzen, o el nivell de qualitat que aconsegueixen. Es tracta d'escollir el més adequat a la finalitat a què està destinat el dibuix; per exemple els basats en injecció de tinta, els electrostàtics o els de sublimació tèrmica permeten sortides de documents de treball per a la realització del control de qualitat, proves de color o distribució de productes que requereixen un nivell de qualitat inferior a l'imprès; les filmadores làser permeten les sortides sobre

material fotogràfic que s'utilitzen en la impremta. El dibuix automàtic permet estalviar moltes hores de dibuix manual, és molt precís, i incorpora, no només la fase de dibuix, sinó també el procés de litografia que tradicionalment es realitzava en el laboratori fotogràfic. Alguns problemes que presenta la situació actual són la limitació en els models de dades i la poca disponibilitat d'eines que facilitin les tasques d'edició i retoc cartogràfic. Els models utilitzats fins ara representen de manera massa esquemàtica el món real; models més complexos permetrien automatitzar encara més alguns processos. De les eines utilitzades en l'edició interactiva la majoria són eines de dibuix amb poques utilitats específiques per al tractament cartogràfic de les bases de dades.

Els atles i els mapes digitals

Cap a finals dels anys vuitanta van aparèixer els primers atles electrònics, que a semblança dels atles tradicionals, aglutinaven un conjunt d'informació cartogràfica i estadística. En aquests moments ens trobem amb una diversitat de productes, formats pel software i la informació, amb diferents nivells de complexitat, tant pel que fa al tipus i l'organització de les dades com a les eines de navegació i d'interrogació, i que inclouen sovint imatge, so i vídeo, convertint-se en veritables productes multimèdia.



Sortides gràfiques de mapes amb traçadors automàtics.

Una novetat remarcable és l'existència de software comercial preparat per tractar específicament el component espacial de la informació. Són els germans petits del SIG, que només preveuen eines d'interrogació per a la localització i per a atributs de la bases de dades, i moviments dins l'àmbit espacial de la informació (acostar-se, allunyar-se, lateral).

I finalment, com és natural en aquesta època en què vivim, parlarem d'Internet. Les autopistes de la informació donen l'oportunitat als navegants de fer consultes sobre cartografia. Així doncs, ja és possible moure's per dins d'un aeroport i veure amb antelació en quin *finger* serà el nostre avió o consultar des de casa quina qualificació urbana té el solar que volem comprar i imprimir a més un plànol amb la situació i la informació sol·licitada.

CONCLUSIONS I PERSPECTIVES

L'evolució de la tecnologia lligada directament o indirectament a la cartografia ha suposat la disponibilitat de noves fonts d'informació, l'automatització de molts dels processos de producció i el desenvolupament de noves eines per a la seva explotació. Podem dir, per tant, que ha suposat disposar de més informació, pel que fa a quantitat i a tipologia, i noves maneres d'utilitzar-la.

Podem fer hipòtesis sobre les tendències de futur:

- a) Desplegament de xarxes permanents GPS, molt important per a la navegació i el posicionament de precisió.
- b) Consolidació de la fotogrametria digital.
- c) Nous sensors: altímetres làser que permeten dibuixar un model molt exacte de la superfície de la Terra; radars d'obertura sintètica, basats en les microones, que travessen els núvols i poden treballar de nit, que permeten construir una imatge del terreny.
- d) Combinació (fusió) de diferents sensors i sinergia de diferents tecnologies.
- e) Utilització intensiva de la cartografia digital en l'àmbit dels SIG.
- f) Consolidació de la impressió electrònica com a alternativa al mapa imprès. ◀

BIBLIOGRAFIA

- CHUVIECO, E., *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Rialp, Madrid, 1990.
- COMAS, D.; RUIZ, E., *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*, Ariel, Barcelona, 1993.
- CROMLEY, R. G., *Digital Cartography*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Digital photogrammetry, an addendum to the Manual of Photogrammetry*, Edited by Cliff Greve, ASPRS, Bethesda, Mariland, 1996.
- SEEBER, G., *Satellite Geodesy*, Edited by Walter de Gruyter, Berlin, 1993.

ROMAN ARBIOL
JOSEP LLUIS COLOMER
ISMAEL COLOMINA
ANNA LLEOPART
MARIA PLA

Cartògrafs de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).