

Cartografia de la Ciutat de Barcelona. Una Base Cartogràfica Digital.

Ramon Masip

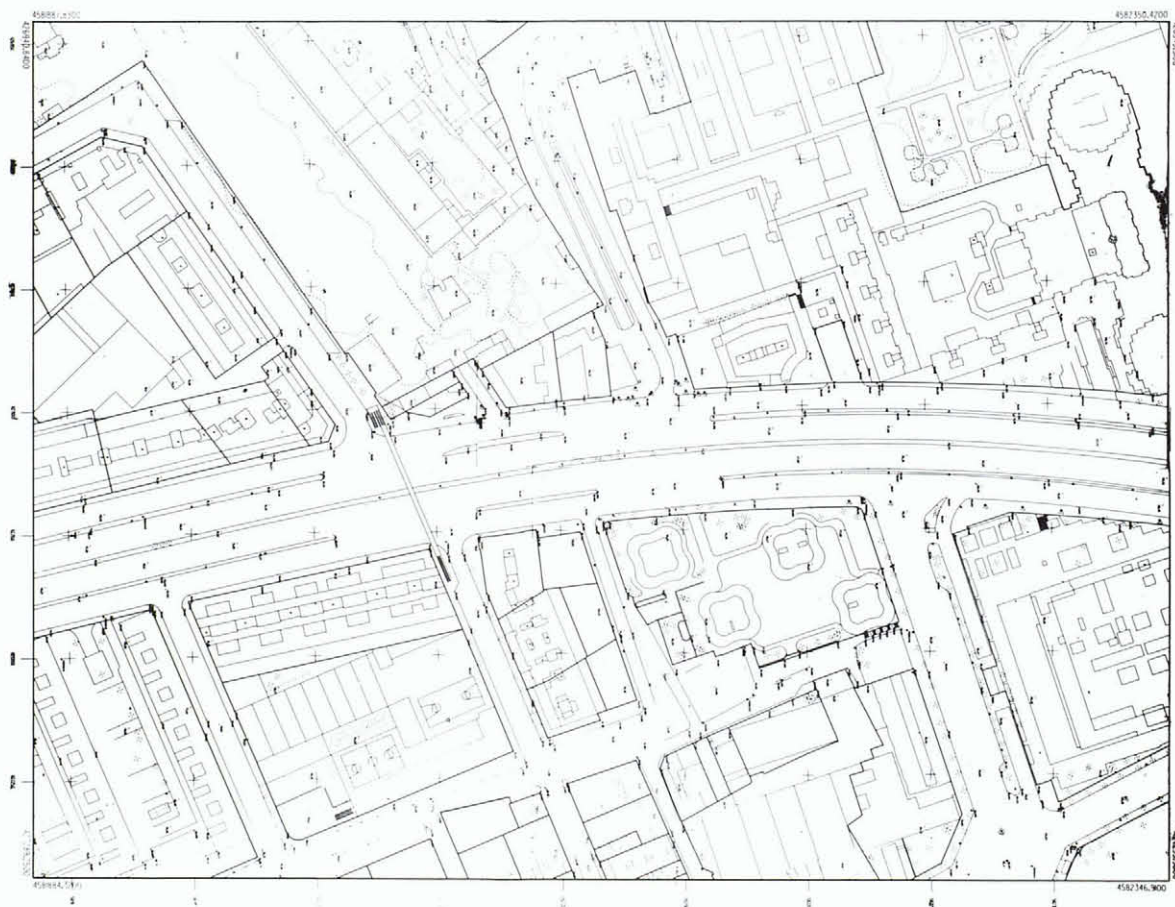
MATEMÀTIC

Des de la seva creació, l'any 1982, l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) va assumir la mecanització de la restitució fotogramètrica, amb l'objectiu d'oferir un producte cartogràfic que va més enllà del mapa imprès o delineat sobre paper. Es tractava de generar bases cartogràfiques digitals, és a dir, compilar informació del territori i emmagatzemar-la sobre suport digital. En aquest context, plasmar la representació d'aquesta informació sobre paper s'ha de considerar com el resultat d'un tractament específic sobre aquesta base digital.

L'any 1984, l'Institut Cartogràfic de Catalunya va signar un conveni amb l'Ajuntament de Barcelona pel qual se li encarregava la realització d'aproximadament 4.600 hectàrees de cartografia a escala 1:500 del municipi de Barcelona. Un dels aspectes més importants d'aquest projecte és que es tracta de la generació d'una Base Cartogràfica Digital, és a dir, la compilació

d'una base de dades del territori municipal de Barcelona mitjançant l'ús de tecnologia informàtica. En assumir aquest projecte, s'hagueren de definir les especificacions cartogràfiques corresponents (definició del vol, xarxa de suport, precisions, quins elements del territori s'han de compilar, etc.), però també s'hagueren d'analitzar i dissenyar nous conceptes relacionats amb el fet de la utilització de tecnologia informàtica. Així, per exemple, es va haver de definir l'organització de les dades en la base digital, es van dissenyar i implementar els mètodes i processos informàtics per donar suport a la producció de la cartografia, etc.

L'objectiu d'aquest article és el de fer una descripció d'aquests aspectes tecnològics i de base de dades sense entrar a fons en consideracions cartogràfiques o fotogramètriques, en què, per una altra banda, s'han aplicat les normatives i els criteris estàndard.



Exemple de full corresponent a una unitat fitxer d'emmagatzemament
(1 divisió de les 80x80 del MTN 1: 50.000)

Organització de dades. El concepte de Base Cartogràfica Digital

A l'hora de definir els elements del territori que havien de ser compilats i la seva interpretació, es van tenir en compte quins havien de ser els seus usos posteriors. Així, es van definir dos tipus bàsics d'utilització:

- 1) Generació del cadastre.
- 2) Obtenció d'un mapa topogràfic.

La informació que es recull del territori és majoritàriament comuna a tots dos grups; així, per exemple, els contorns d'edificació i les alineacions d'illes de cases són elements indispensables per a ambdós tipus. Aquesta doble finalitat és la que ha determinat les especificacions bàsiques d'aquest projecte. En particular, la presència d'elements que defineixen el cadastre i que formen part de la topografia del territori ha obligat, en alguns casos, a establir prioritats a l'hora de classificar-los: els conceptes cadastrals són prioritaris sobre els topogràfics, i entre els cadastrals, els envoltants són prioritaris sobre els interiors (per exemple: si un element és a la vegada límit d'edificació i d'alineació d'illa de cases, es codificarà com a línia d'illa de cases).

La primera de les aplicacions obliga a la compilació de tots aquells elements del territori que componen els diferents conceptes cadastrals (parcelles, edificacions, etc.). El mètode de compilació i l'estructura de dades que s'ha definit són determinats pel fet que els diferents elements cadastrals són de geometria poligonal i que la informació digital emmagatzemada ha de possibilitar una anàlisi i gestió eficient d'aquest fet: càlcul automàtic d'àrees, agregacions i segregacions d'elements poligonals, establiment de lligams entre els elements poligonals i formació associada (p.e. el nom del propietari d'una parcel·la ha d'anar lligat al polígon que la determina), accés a la informació, tant per criteris

de localització geogràfica (p.e. accedir a tota la informació continguda en un districte municipal) com a partir d'un dels atributs d'informació associada al polígon (p.e. determinar la superfície d'una parcel·la a partir del nom del propietari i de l'adreça postal), etc. Hem de considerar, però, que la base cartogràfica digital generada prové de la restitució fotogramètrica i, per tant, els diferents conceptes cadastrals són interpretats sobre fotografia aèria. Aquesta interpretació no permet una determinació exacta del concepte cadastral que s'ha d'associar a cada element del territori (p.e. des de la fotografia aèria no es pot determinar si la línia de separació entre dos volums d'edificació separa dos edificis de dues parcel·les diferents o bé correspon a la separació de dos volums d'un mateix edifici i per tant dins d'una única parcel·la). Això vol dir que la informació compilada per aquest procediment no reflectirà l'estructura poligonal definitiva i completa, sinó que el que s'obté és una col·lecció provisional d'elements del territori que hauran de ser revisats a partir de dades obtingudes mitjançant el treball de camp. Aquesta revisió introdueix una correcta interpretació de cada element, cosa que permetrà la generació de l'estructura de dades definitiva i, a partir d'aquesta, el cadastre definitiu. Així doncs, l'estructura de dades que s'ha utilitzat per a la compilació d'aquesta cartografia va orientada a facilitar aquesta revisió, i consisteix que en comptes de generar directament elements poligonals tancats, que no serien els definitius, s'han compilat i interpretat elements lineals geomètricament connectats. Això vol dir que per a cada element cadastral es compilarà de forma independent cadascun dels trams lineals que el componen, classificant-los convenientment i tenint cura que els punts extrems de cada tram lineal es corresponguin (si escau) amb punts extrems d'uns altres trams lineals. Des d'un punt de vista d'estructura de dades, la compilació mitjançant l'ús d'elements lineals té l'avantatge que

aquests són fàcilment reclassificables o modificables, i la connectivitat geomètrica permet la posterior generació de manera automàtica d'elements poligonals tancats, bé sigui amb estructura vectorial simple o bé amb estructura topològica (aquesta última preferible a l'anterior pel que fa a la capacitat i rendiment en l'anàlisi poligonal).

Per a l'obtenció del mapa topogràfic s'utilitza pràcticament tota la informació que s'ha compilat per a la generació del cadastre, completada amb elements que determinen els altres aspectes del territori: mobiliari urbà, vegetació, elements que formen part de la xarxa viària, etc.

Podem, doncs, considerar el concepte de base cartogràfica digital com l'emmagatzemament sobre suport digital de la informació esmentada, aplicant-hi els criteris d'organització de dades que en permetin una correcta explotació. Des d'un punt de vista lògic, els diferents conceptes cadastrals i topogràfics s'han classificat en grups o capes de temàtica comuna, i dins de cada grup els elements es diferencien entre si mitjançant una col·lecció de paràmetres de representació gràfica i de geometria. L'estructura geomètrica correspon a un model vectorial simple, és a dir, cada element es defineix per un conjunt de coordenades que en determinen la localització i sense cap relació explícita amb la resta dels elements. Dins d'aquesta estructura, i des d'un punt de vista geomètric, els elements del territori es poden classificar en:

- Elements definits per un punt: símbols no orientats ni escalats (p.e. arbres, fanals, etc.).
- Elements definits per dos punts: símbols orientats (p.e. cabina telefònica, banc, bústia, etc.).
- Elements definits per tres punts: símbols orientats i de mides variables (p.e. boca de metro, armari a la via pública, torre elèctrica, etc.).
- Elements lineals: determinats per una seqüència de punts (p.e.

**Visualització sobre pantalla gràfica
d'una zona urbana.**

corba de nivell, límit de paviment, vorera, etc.).

- Elements circulars (p.e. dipòsit d'aigua, etc.).

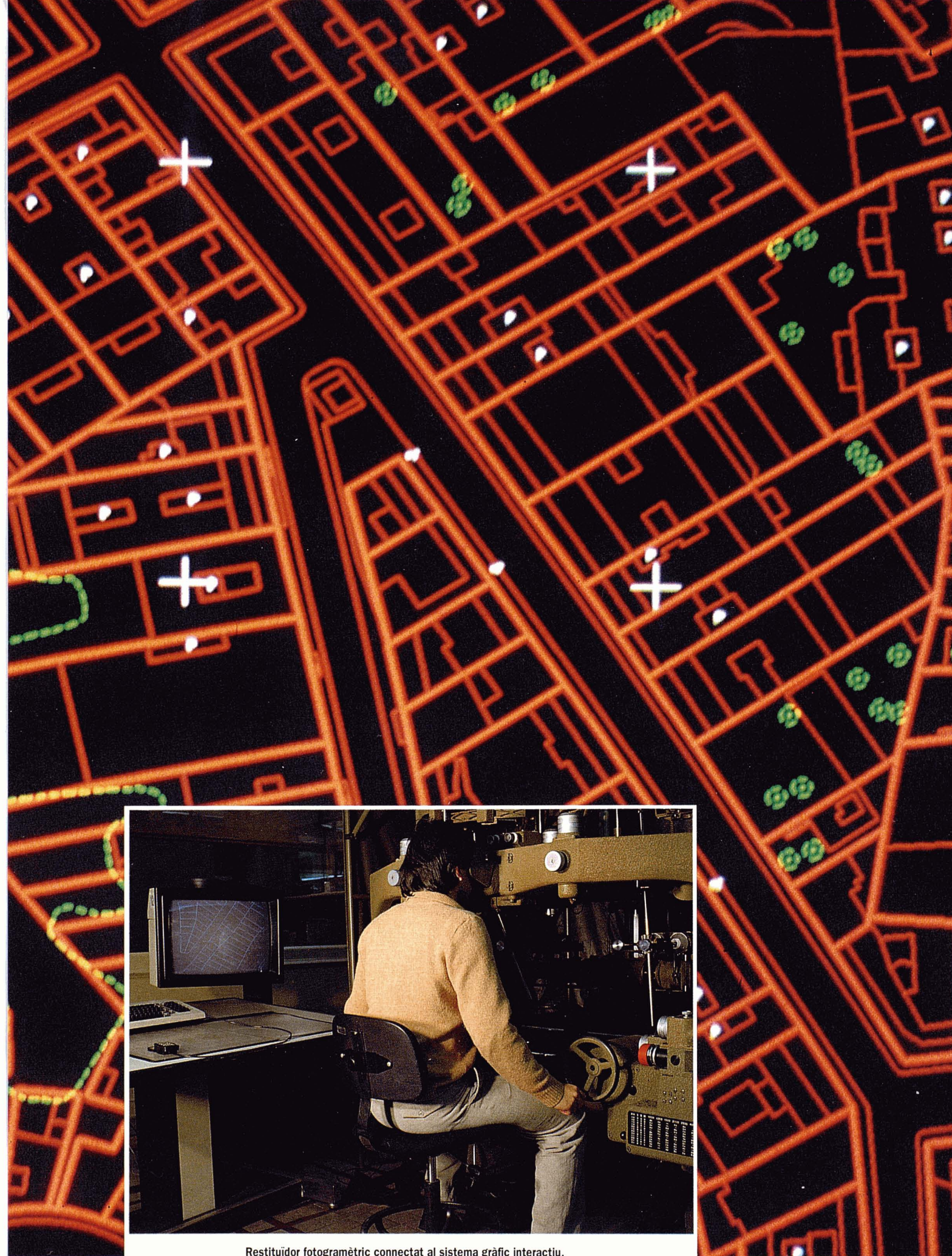
- Textos: rotulació en general (p.e. paratges, cultius, edificis singulars, etc.).

La base cartogràfica corresponent a les 4.600 hectàrees ocupa 358.000.000 bits de memòria digital. Una gestió coherent d'aquesta informació, tant pel que fa a la seva compilació com per a la posterior explotació, ha obligat a descompondre la base en unitats físiques (fitxers) de menor embalum. Per a la determinació d'aquestes unitats s'ha utilitzat el tall geodèsic corresponent a 80 x 80 divisions dels fulls del MTN ("Mapa Topogràfic Nacional") a escala 1:50.000 (aproximadament unes 16 hectàrees del territori a cada full). Aquesta divisió assegura, des d'un punt de vista conceptual, la continuïtat pel mètode de compilació de les dades que s'ha utilitzat. Així doncs, cada full de tall geodèsic es correspon amb un fitxer digital, que és també la unitat de treball que s'utilitza. La mida mitjana d'un d'aquests fitxers digitals és de 663.000 bits. Aquesta continuïtat conceptual i geomètrica possibilita de fer una gestió del territori amb informació continguda a l'àrea que determina un districte municipal, sense haver de fer cap consideració especial pel fet que aquesta estigui distribuïda en diferents fitxers, és a dir, s'ha de considerar el territori cartografiat com un mosaic continu on les tesselles són els fitxers esmentats.

Compilació de dades

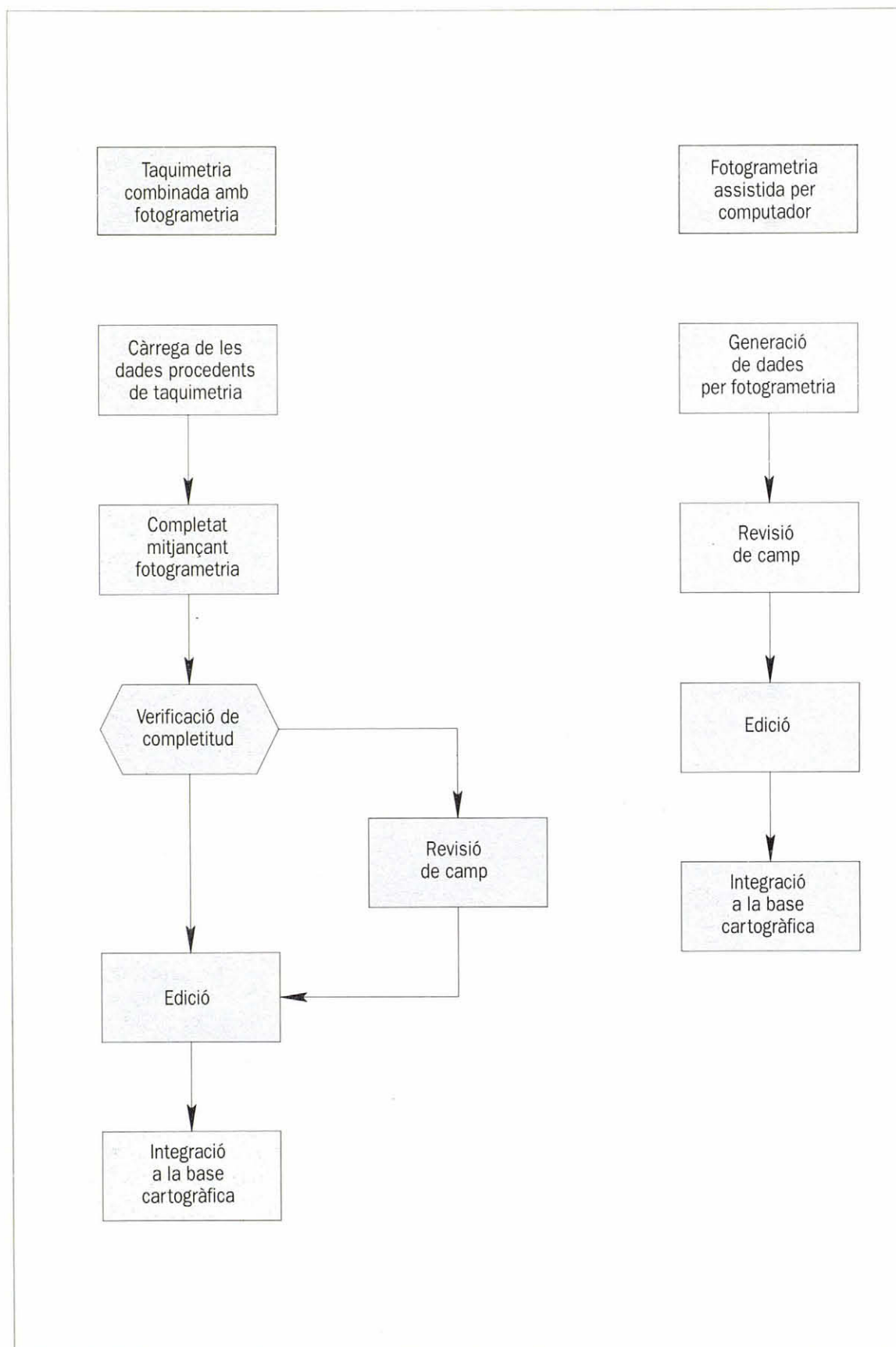
La compilació de les dades s'ha fet bàsicament utilitzant tècniques de fotogrametria assistida per computador, complementades per procediments de revisió de camp. També s'ha utilitzat, per a una part de la cartografia, una tècnica mixta: taquimetria combinada amb fotogrametria, que ha servit per a provar aquest mètode com un dels més eficients per a la compilació de cartografia urba-





Restituïdor fotogràfic connectat al sistema gràfic interactiu.

MÈTODES UTILITZATS PER A LA COMPILACIÓ DE DADES



TAULA DE PARÀMETRES DE CLASSIFICACIÓ PER A ALGUNS DELS CONCEPTES CARTOGRÀFICS DEL PROJECTE

CONCEPTE	GEOMETRIA	CAPA	TIPUS LÍNIA	COLOR	PES
Jardins i parterres	2 Lineal	23	0	3	0
Arbres	Símbol puntual (no orientat)	23	0-2	2	0
Semàfor	Símbol definit per 2 punts (orientat)	25	0	0	0
Armaris en via pública	Símbol definit per 3 punts (orientat i escalat)	36	0	0	0
Parcel·les	Lineal	39	0	3	3
Edificacions	Lineal	42	0	3	0

na, encara que l'alt cost d'aquest no el fa aplicable a qualsevol tipus de projecte. Així doncs, des d'un punt de vista de compilació de dades, aquest projecte ha estat un excel·lent banc de proves, i la generació de la base cartogràfica s'ha fet seguint un dels dos mètodes següents:

- Fotogrametria assistida per computador.
- Taquimetria combinada amb fotogrametria assistida per computador (aproximadament un 25% de la zona a cartografiar).

Fotogrametria assistida per computador

En el mètode de fotogrametria assistida, la informació es compila a partir de fotografia aèria. Des d'un punt de vista tecnològic, la compilació s'ha fet utilitzant restituïdors fotogramètrics connectats a un sistema gràfic interactiu basat en un miniordinador i pantalles gràfiques especialitzades, i amb una interfície entre el sistema informàtic i el lloc de treball (restituïdor fotogramètric) d'alt nivell. Això implica les consideracions següents:

- L'operador fotogramètric visualitza en temps real els ele-

ments del territori que va generant sobre la pantalla gràfica. La representació sobre la pantalla és la mateixa que la que defineixen les especificacions cartogràfiques. Totes dues consideracions faciliten la detecció immediata d'errors grollers en la generació de la informació.

- Es disposa de software gràfic interactiu (implementat en forma de menú de comandes) que permet, d'una manera senzilla, activar els paràmetres i la geometria de cadascun dels objectes del territori, i la seva integració a la base de dades. Hi ha també un bloc de comandes que permeten a l'operador de rectificar interactivament errors comesos en la restitució. L'alt nivell de funcionalitat d'aquest entorn interactiu independitza l'operador del manteniment de la consistència de l'estructura de les dades i de l'establiment per a cada objecte cartogràfic de la seva correcta representació gràfica.

La informació generada per restitució s'ha de completar i verificar mitjançant treball de camp, perquè una certa informació no és visible des de la fotografia aèria. Així, per exemple, part d'una vorera pot quedar oculta pels ar-

bres, o un voladís pot ocultar la verdadera alineació de la façana, o s'han de verificar algunes distàncies, etc. La realització d'aquestes tasques, l'anomenarem procés d'edició. Aquest s'inicia dibuixant sobre paper, utilitzant un plòter, la informació restituïda. A continuació, en el treball de camp, es fan les identifications dels elements del territori i es determinen les mesures necessàries per a fer-ne la correcta localització. Les dades recollides s'antenen en el paper sobre la cartografia restituïda. A partir d'aquestes dades es torna a utilitzar el sistema gràfic interactiu per a la introducció de la nova informació i les correccions. En aquest procés s'utilitza un menú de comandes especialitzat per a aquesta feina, implementat sobre pantalles gràfiques especialitzades. Per a l'edició es van fer servir addicionalment i per primera vegada, estacions gràfiques autònomes basades en microordinadors amb software gràfic compatible amb el sistema principal basat en miniordinadors. Aquest procés d'edició és el darrer pas en el procés de creació de la base cartogràfica digital, es realitza per a cada full d'informació compilada, i és el que ja deixa les dades convenientment preparades per a la integració a les bases i el seu lliurament a l'Ajuntament.

Taquimetria combinada amb fotogrametria assistida per computador

En aquella part del territori en què s'ha utilitzat aquest mètode, s'han compilat mitjançant taquimetria: les alineacions de voreres, les alineacions d'illes de cases i les mitgeres (punt sobre la façana que estableix la divisòria entre dues edificacions). Aquesta informació ha estat compilada pels equips tècnics de l'Ajuntament de Barcelona i un cop adequada al format digital convenient, s'ha passat a l'institut Cartogràfic per a la seva compleció. La resta de les dades de la base cartogràfica s'ha compilat utilitzant fotogrametria assistida per



Entorn d'edició basat en un microordinador.

computador. Pot succeir, però, que alguna part del territori no s'hagi pogut compilar ni per taquimetria, ni per fotogrametria, o bé que hi hagi alguna indeterminació en les dades provinents de la taquimetria; si es produeix alguna d'aquestes circumstàncies, aleshores, també cal fer una revisió de camp i aplicar-hi un procés d'edició per a la introducció de les dades revisades. Tant en la restitució fotogramètrica com en el procés d'edició s'ha fet servir la mateixa tecnologia que hem esmentat en el paràgraf anterior.

Algunes consideracions

La generació de la base cartogràfica esmentada es va iniciar l'any 1985 i es va finalitzar el 1987. Va ser el primer projecte d'aquestes característiques que s'efectua a L'ICC i va constituir un excellent banc de proves per a projectes de cartografia urbana. Una de les conclusions importants a què es va arribar és que la utilització de dades compilades per taquimetria combinades amb informació generada per fotogrametria constitueix un mètode de producció amb una relació cost/qualitat bastant bona. Permet la compilació d'aquells elements del territori que,

sent accessibles, requereixen una alta precisió i ús de taquimetria, i la resta de la informació es pot compilar per fotogrametria que, encara que és menys precís, és un mètode més ràpid i permet de compilar la informació de l'interior de les illes de cases que no és accessible per mètodes taquimètrics.

Des d'un punt de vista tecnològic, va aportar l'establiment d'una metodologia per al desenvolupament d'aplicacions informàtiques per al suport a la restitució fotogramètrica i als processos d'edició posteriors. Va servir, també, per a consolidar les estacions gràfiques autònomes basades en microordinadors, que, encara que funcionalment són menys potents que l'entorn sobre microordinador, s'han revelat eines excel·lents per a la realització de feines específiques, com ara el procés d'edició. De fet aquests mètodes han servit de punt de partida per a la realització de projectes de cartografia cada vegada més complets i refinats, tant en l'aspecte cartogràfic com en el tecnològic: cartografia a escala 1:500 i 1:1.000 del municipi de Bilbao, a escala 1:1.000 per al municipi de Mataró, etc.

Per una altra banda, el concepte de base cartogràfica digital ha quedat prou validat, ja que s'ha demostrat que la tecnologia que porta associada permet una fàcil i ràpida reproductibilitat de la cartografia, una edició més eficient i la incorporació del fet geomètric, referenciat sobre el territori a les bases de dades cadastrals. El fet digital ha permès l'adaptació de la base cartogràfica a la ràpida evolució de la tecnologia i, alhora, l'aparició de cada vegada més àmbits d'aplicació d'aquestes. En aquests moments és ja una realitat de disposar de tota la informació, compilada en el projecte, emmagatzemada en un únic disc òptic, basat en tecnologia làser directament accessible des d'un microordinador; aquest fet possibilita una àmplia distribució de la base cartogràfica per a diferents usos. Així també, la utilització de software especialitzat per a la visualització d'un model tridimensional i en color de la ciutat és un exemple interessant que permet, a més d'alguns altres aspectes, el de la utilització de la base cartogràfica per al planejament urbanístic.

R. M. □