

ORTOFOTOMAPA DE CATALUNYA EN FALS COLOR 1:50 000

Introducció

L'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) és un organisme dependent de la Generalitat de Catalunya, i té com a funció realitzar tota mena de Cartografia. Actualment, dues de les seves principals línies de treball són la producció d'ortofotos a escala 1:50 000 i 1:25 000 i la confecció de mapes en fals color a escala 1:100 000 i 1:250 000 a partir d'imatges del satèl·lit LANDSAT-5.

El treball que presentem a continuació es refereix a la realització de la sèrie a escala 1:50 000 en fals color, i així s'enllacen les línies cartogràfiques abans esmentades. Amb aquesta finalitat es fan servir imatges captades pel satèl·lit SPOT-1, un model numèric del terreny (MNT) i el software de procés digital d'imatges de què es disposa a l'ICC.

Dades emprades

Els estudis realitzats amb posterioritat al llançament del satèl·lit SPOT han demostrat la idoneïtat de les imatges pancromàtiques captades pel sensor HRV a l'hora de realitzar ortofotos a escala 1:50 000 (BAUDOIN, 1986). També és coneguda la tècnica de barrejar imatges procedents de sensors de diferent resolució a fi de donar informació en color a una imatge monoespectral.

Com a conseqüència de tot això, per tal de confeccionar un producte cartogràfic amb la major quantitat possible d'informació, es faran servir imatges pancromàtiques (P) i multispectrals (XS), captades de forma simultània pel satèl·lit SPOT (*taula 1*), de manera que es mantingui una elevada correlació entre les dues imatges.

Les dates escollides per a la programació del satèl·lit són compreses entre abril i juliol, perquè a l'estiu les imatges tenen una il·luminació més bona i és més fàcil aconseguir-les netes de núvols i neu. Els tests realitzats fins ara s'han basat en imatges del març i l'agost del 1986.

Canals	Longitud d'ona (µm)	Pixel (m)
XS1	0,50-0,59 verd	20
XS2	0,61-0,68 roig	20
XS3	0,79-0,89 infraroig proper	20
P	0,50-0,75 pancromàtic	10

Taula 1: Canals espectrals i resolució del satèl·lit SPOT-1

Per tal d'efectuar la correcció geomètrica cal un MNT tan precís com sigui possible. En els primers assaigs hem fet servir un MNT procedent de la *Defense Mapping Agency* (DMA), el qual consisteix en una malla d'altures cada tres segons de grau i cobreix de manera sistemàtica gran part del territori que interessa. Cal també la utilització de cartografia a fi de localitzar els punts de control (s'han fet servir des d'ortofotomapes a escala 1:50 000 fins a mapes topogràfics a escala 1:50 000).

Correcció geomètrica

Les distorsions geomètriques més comunes a les imatges de satèl·lit són les provocades per la rotació i la curvatura de la Terra, els canvis en l'actitud del sensor, les variacions de l'òrbita del satèl·lit i l'anisotropia durant l'escombratge de la imatge, entre d'altres. Addicionalment, en el cas del satèl·lit SPOT i pel que fa a la realització de mapes a escala 1:50 000, cal tenir molt presents les distorsions causades pel relleu, accentuades en el cas de les preses laterals. La *taula 2* resumeix els desplaçaments (en metres) en funció de l'angle de visió lateral i de les altituds.

Quan es va plantejar el problema de confeccionar mapes a escala 1:100 000 a partir d'imatges TM-LANDSAT (ARBIOL, 1986) es va utilitzar el sistema de correcció consistent a crear una funció que relaciona el sistema de coordenades imatge (línia, columna) amb un sistema cartogràfic (usualment l'UTM), mitjançant l'ajustament d'un polinomi, de primer o segon grau, a partir d'una sèrie de punts de control.

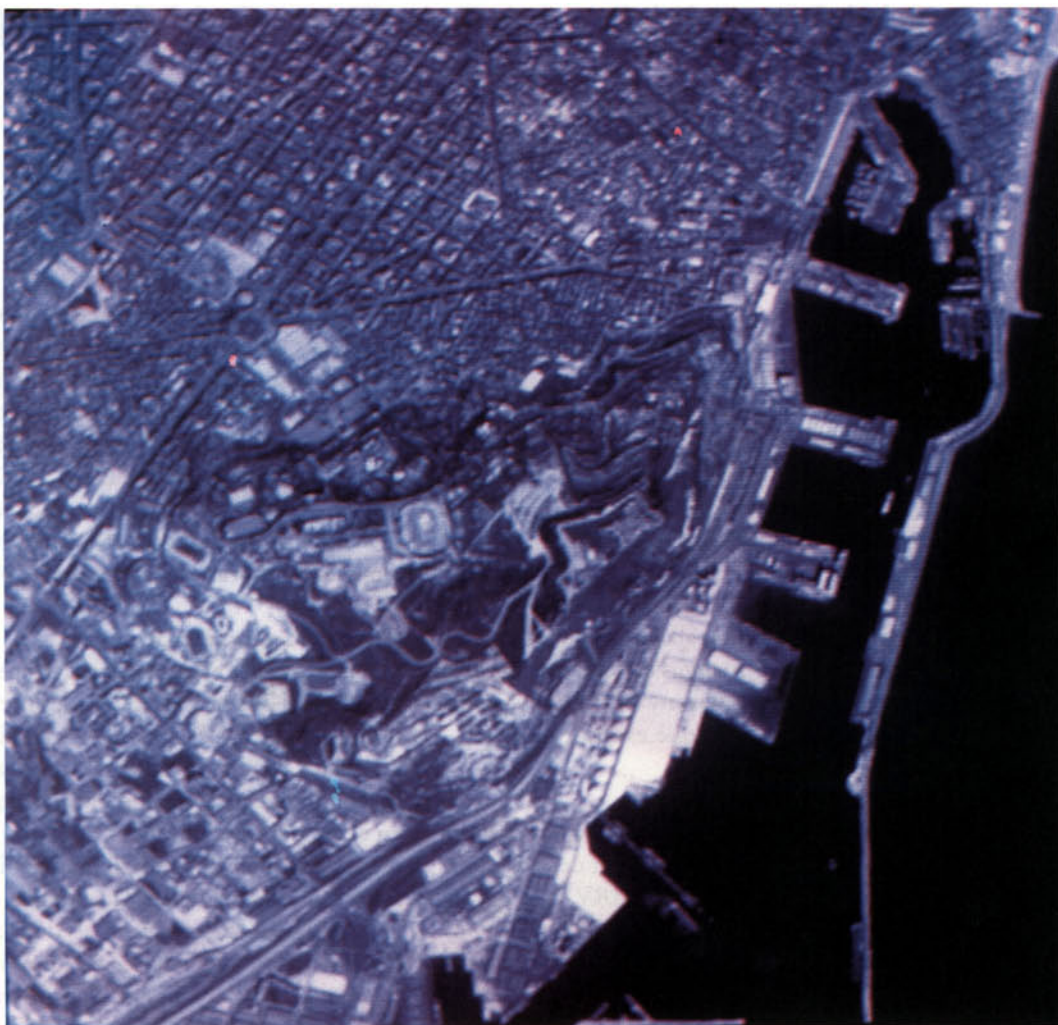
Pel que fa al SPOT, es va comprovar que sobre àrees amb desnivells accentuats el model polinomial era insuficient. Per tant, es va haver de buscar un mètode alternatiu més perfeccionat que fes servir el MNT.

Diversos autors (SALAMONOWICZ, 1986; GUGAN, 1987) han desenvolupat models que estableixen l'òrbita del satèl·lit i les variacions de l'actitud del sensor per a cada línia de la imatge, a partir d'uns pocs punts de control, però, en general, la localització del pixel associat a una coordenada en el sistema cartogràfic suposa l'execució d'un procediment iteratiu costós en temps de càlcul. Aquesta complexitat va fer replantejar el problema i cercar un model simplificat que permetés ajustar-se a les especificacions de precisió de l'escala 1:50 000.

Concretament, el model simplifica el problema considerant el relleu sobre una base plana (al contrari de l'esfe-

Foto 1: Exemple d'imatge pan-cromàtica (P) SPOT de l'àrea de Barcelona

(Foto: ICC)



ricitat real de la Terra), l'òrbita del satèl·lit rectilínia i l'actitud del sensor constant. En aquestes condicions, l'efecte de rotació de la Terra es resol mitjançant una correcció de la inclinació de l'òrbita i l'actitud del sensor; l'efecte panoràmic és assumit pel model, en simular una barra de sensors. Només resta com a error residual l'aproximació del geoide per l'espai pla UTM, així com les variacions en l'actitud del sensor. El model matemàtic es basa en les equacions de col·linealitat i depèn de vuit paràmetres que

s'estableixen a partir de punts de control dels quals es coneixen la seva posició en la imatge i les seves coordenades UTMX, UTMY i Z.

L'obtenció dels paràmetres es basa en el mètode d'ajustament mínim-quadràtic iteratiu descrit per MIKHAIL (1976). Un cop coneguts els paràmetres, la correcció geomètrica d'una imatge sencera consisteix en l'obtenció per a cada pixel resultant (que té associades unes coordenades UTM) del pixel associat de la imatge original. A causa de la simplicitat del model, això suposa l'aplicació sistemàtica d'una expressió senzilla seguida d'una interpolació bilineal.

Es va fer un test sobre una imatge SPOT pancromàtica que inclou Barcelona, captada el 31 de març del 1986, amb un angle de desplaçament lateral del sensor de 7,3 graus est i un desnivell màxim d'uns 500 metres. El MNT emprat per a fer la correcció és el de la DMA. Els errors mesurats (RMS) sobre els 19 punts de test són:

$$\text{RMSX} = 9,57 \text{ metres i } \text{RMSY} = 9,60 \text{ metres}$$

Altitud (m)	Angle de visió lateral		
	0 graus	5 graus	10 graus
2 000	72,12	247,09	424,77
1 000	36,06	123,55	212,38
500	18,03	61,77	106,19
100	3,61	12,35	21,24

Taula 2: Desplaçaments provocats pel sensor HRV-SPOT en funció de l'altitud i de l'angle de visió lateral del terreny

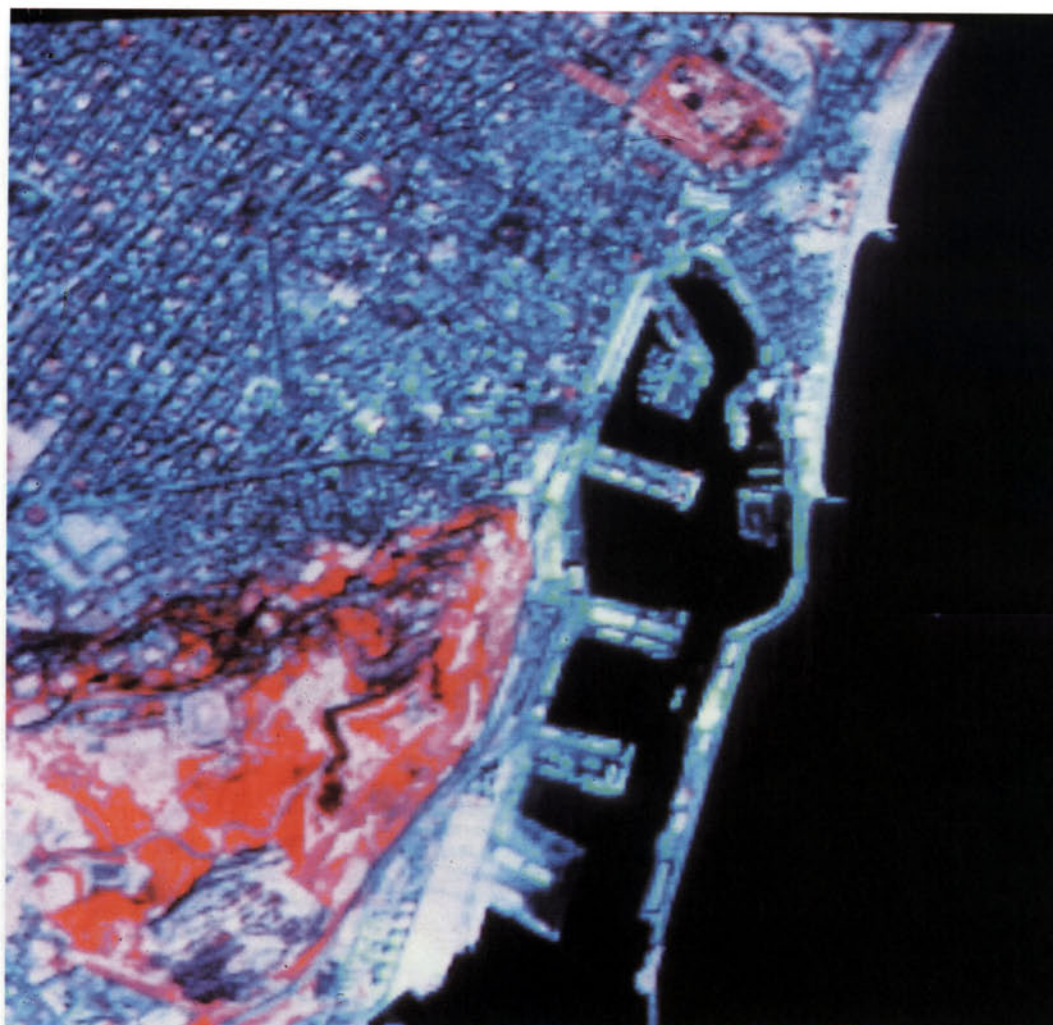


Foto 2: Exemple d'imatge multispectral (XS) SPOT de l'àrea de Barcelona

(Foto: ICC)

Registre d'imatges

Un cop es disposi de les dues imatges corregides geomètricament (XS+P), cal procedir a un procés suplementari de registre, ja que la correcció geomètrica només garanteix un error mitjà de ± 1 pixel i la superposició d'imatges és molt sensible a petites diferències de situació. A fi de procedir a aquest registre d'imatges es disposa una sèrie de punts de control sobre cadascuna d'elles i es construeix un polinomi de correcció de segon grau, que transforma la geometria de la imatge XS en la del canal P. Com és natural, la recerca d'aquests punts sobre la imatge no es pot fer manualment, ja que s'introduiria un error considerable de posicionament sobre els punts que haurien de parametritzar la distorsió geomètrica. A fi de resoldre el problema es fan servir tècniques de correlació digital.

Per tal d'ajustar el polinomi es pren un nombre considerable de punts (de l'ordre d'un centenar) situats de forma sistemàtica al llarg i a l'amplada de la imatge. Sobre aquests punts es defineixen dues finestres centrades: una, de 25 x 25 pixels, sobre el canal P, i l'altra, de 35 x 35 pixels,

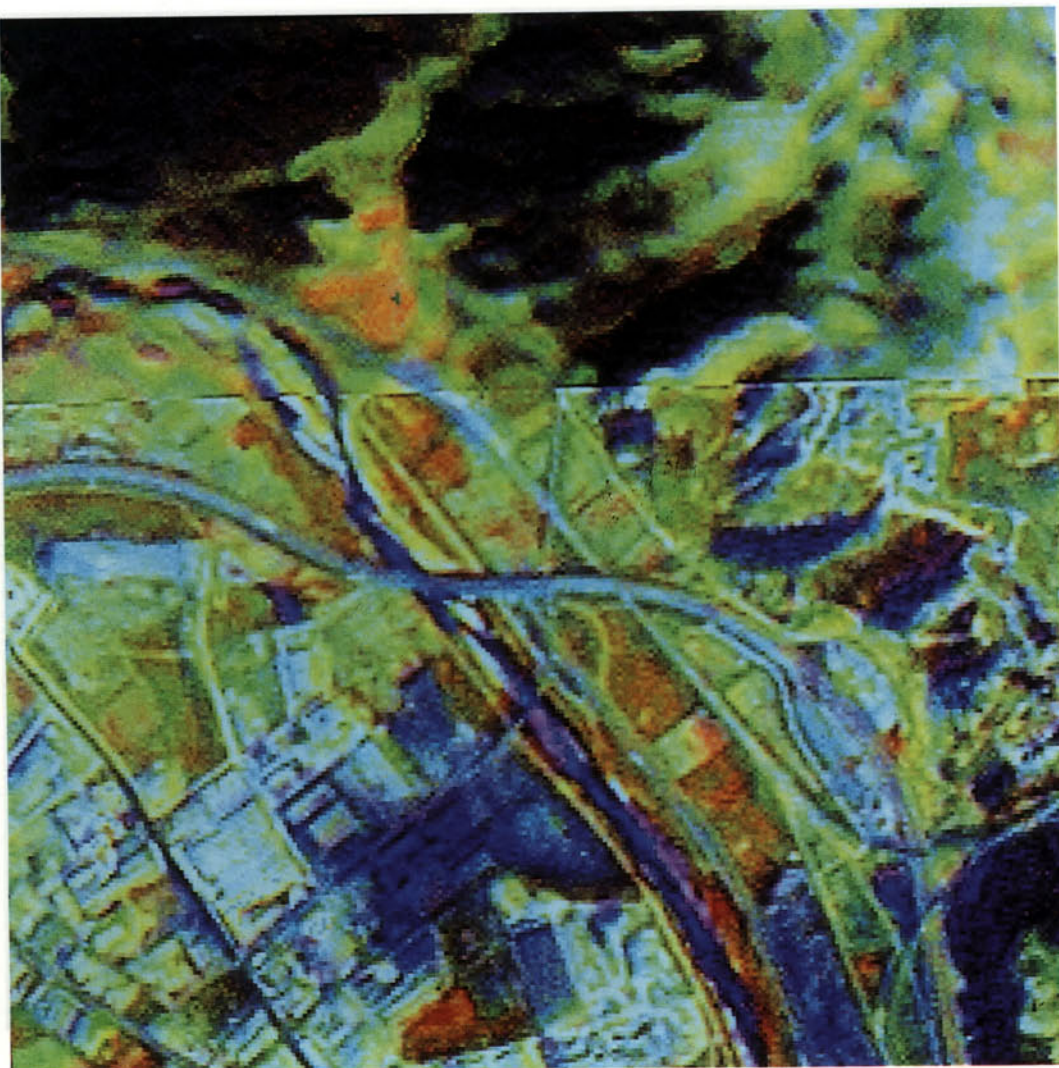
sobre el canal XS2, ja que va demostrar que tenia el coeficient de correlació més gran amb el pancromàtic. Per a totes les subfinestres possibles de 25 x 25 pixels, dintre de la finestra més gran, es calcula el coeficient de correlació creuada amb la finestra més petita.

Un cop es coneix la posició sencera del punt on la correlació es maximitza, és possible situar en el seu entorn la posició subpixel, definint un paraboloides els coeficients del qual s'ajusten mitjançant els coeficients de correlació trobats en aquest punt i el seu entorn. Teòricament, aquest paraboloides ens descriurà en aquest entorn quin és el grau de correlació d'ambdues finestres. Cercant el punt (X,Y) on es trobi el màxim de la funció, s'haurà trobat un possible punt de suport amb precisió subpixel.

Quan s'hauran processat els cent punts definits sistemàticament, disposarem d'una llista de cent parells de coordenades imatge (línia, columna), que defineixen punts corresponents a ambdues imatges. Evidentment, com que el procés seguit és absolutament cec, hi ha la possibilitat que alguns d'aquests punts siguin erronis. Mencionarem

Foto 3: Exemple de la fusió de dades multispectrals de baixa resolució (part de dalt) amb dades pancromàtiques d'alta resolució (part de baix)

(Foto: ICC)



algunes de les causes que podrien provocar aquest fenomen: l'existència d'artefactes radiomètrics a la imatge, la localització de punts sobre la mar, zones amb pregones diferències entre ambdós sensors.

Per tal de detectar els punts mal situats (sempre seguint la hipòtesi que no són un percentatge apreciable del total) es procedeix a modificar l'ajustament tradicional del polinomi de segon grau mitjançant punts de control, de manera que cada punt participi en l'ajustament amb un pes. L'ajustament i el pes de cada punt es determinen d'una manera iterativa. El pes de cada punt serà inversament proporcional a l'error comès en la iteració anterior. Així, doncs, els punts mal situats cada vegada tenen més poca participació en el procés d'ajustament, fins que no hi participen en absolut.

Un cop s'ha definit el polinomi, s'ajusta la geometria de la imatge XS a la de la imatge P, de manera que s'obtingui una bona superposició de les quatre bandes del SPOT.

Barreja dels canals XS i P

Alguns autors (CHAVEZ, 1986; CLICHE, 1985) han tractat la problemàtica de combinar informació procedent de diversos sensors amb diferents resolucions espacials i espectrals. D'una banda es disposa d'informació multispectral (TM, MSS, HRV-MSS) i d'altra banda d'informació pancromàtica de més gran resolució (HRV-P, NHAP). El resultat que es vol obtenir és una única informació que inclogui a la vegada la més gran resolució espectral del primer grup i la resolució espacial del segon grup.

El procediment de combinació que ha proporcionat els millors resultats és el que es basa en la transformada HSL (*Hue, Saturation, Lightness*), que permet representar els colors d'una manera més intuïtiva i manipulable (FOLEY, 1982). En concret, aquesta transformació s'efectua sobre les bandes multispectrals, i després se substitueix el component L (*Lightness*) pel pancromàtic i s'efectua la transformació inversa.



Foto 4: Àrea del port de Barcelona, amb la imatge de l'esquerra millorada radiomètricament



(Foto: ICC)

Per tal que la tonalitat mitjana del color resti inalterada, prèviament a la substitució s'altera el canal P a fi que tingui el mateix histograma que la component L. El resultat respectarà els colors originals d'una manera més fidel com més gran sigui la correlació entre les bandes P i L. La més gran resolució del pancromàtic restarà distribuïda per totes les bandes resultants.

La utilització d'aquest espai de color permet, en general, la manipulació dels colors d'una manera més controlada de cara a la millora del producte final. Així, per exemple,

si volem uns colors més saturats, només caldrà que augmentem els valors de la component associada a la saturació.

Tractaments finals

Abans de procedir a l'edició final de les imatges, són sotmeses a una sèrie d'operacions amb la finalitat de millorar la radiometria local sense arribar a superar els nivells màxims de saturació de color.

Amb aquesta finalitat, el primer procés que s'aplica és un filtre laplacià que remarca les altes freqüències de la

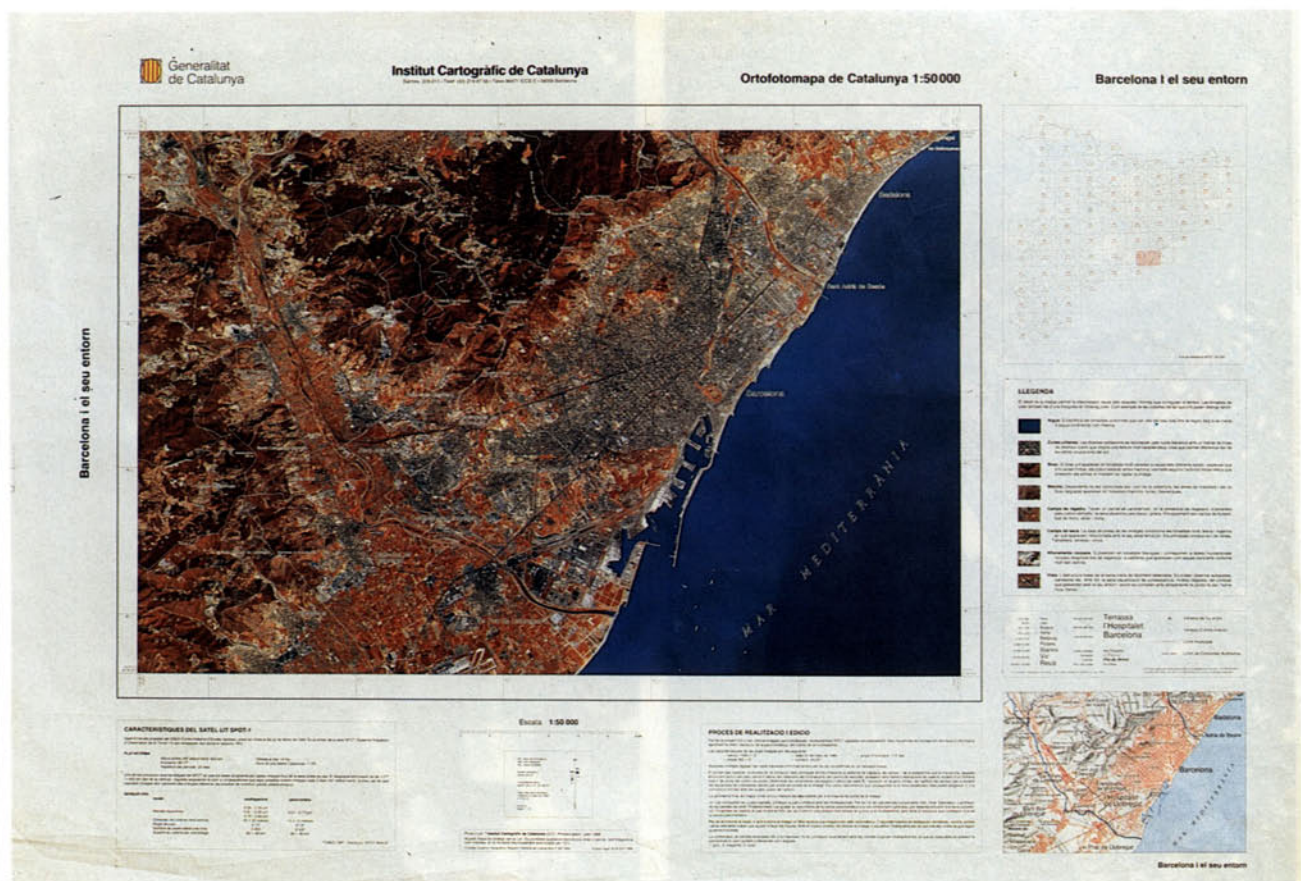


Foto 5: Full de Barcelona a E 1:50 000

(Foto: ICC)

imatge. Això fa més visibles les estructures lineals de la imatge, malgrat que també accentua el seu soroll.

A continuació s'aplica un procediment de millora de contrast a partir dels histogrames locals calculats a l'interior de cada quadrícula formada per una malla regular. Per a cada finestra es calcula una funció de normalització i a cada píxel se li aplica una funció de contrast, que és la combinació de les funcions de normalització associades a les quatre finestres més properes, ponderant-les d'acord a la seva distància al píxel.

Com que la dimensió que assoleixen els píxels representats a escala 1:50 000 és de 0,2 mm, i com que l'ull humà és capaç de percebre amb facilitat blocs d'aquestes dimensions (WIESEL, 1985), cal calcular una nova imatge amb unes dimensions de píxel que dissimuli aquest efecte sobre el paper. Concretament, apliquem un factor de reducció del píxel d'1,4, suficient per a l'efecte que es vol aconseguir. A l'hora d'interpol·lar els nous píxels es té en compte els setze píxels veïns, que es multipliquen pels valors discrets de la funció $\sin x/x$. Mitjançant l'aplicació d'aquesta funció aconseguim, a més, un efecte addicional de disminució del soroll, que restava augmentat pel filtre laplacià.

En darrera instància, s'efectuen retocs radiomètrics a cadascuna de les bandes a fi d'evitar el predomini d'algun dels colors fonamentals i els tons massa clars o massa foscos. Això s'aconsegueix aplicant funcions lineals a cadascuna de les bandes.

Edició

Un cop realitzat el tractament digital de les imatges, es procedeix a la seva conversió en imatge analògica. Es fa ús d'un sistema làser d'escriptura que proporciona els tres fotolits tramats a l'escala final d'impressió i que corresponen als colors cyan, magenta i groc.

L'edició final del mapa es complementa, tal com ja es va fer amb la sèrie a escala 1:100 000 de Catalunya (ARBIOL, 1986), amb elements que facilitin la comprensió del mapa als usuaris que no estiguin avesats a aquesta mena d'imatges. Així, per exemple, s'inclou una llegenda orientativa de les principals cobertes del sòl, mitjançant la utilització de petites mostres de les cobertes majoritàries que apareixen a cada full. S'hi incorporen dades de la declinació magnètica, la data i l'hora que fou presa la imatge, així com una breu descripció del procés dut a terme. També s'hi afegeix un mapa guia de la zona que engloba la imatge i

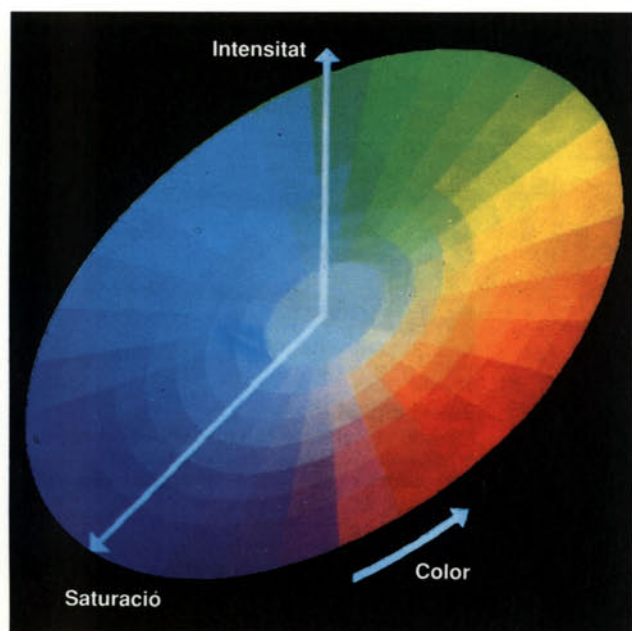


Foto 6: Espai de color HSL

(Foto: ICC)

que inclou la toponímia, la xarxa hidrogràfica i la xarxa de carreteres. Finalment, hi ha un mapa de localització de cada full dintre del conjunt de la sèrie. La imatge va encaixada en un marc amb coordenades UTM i en el seu interior se superposen els límits municipals juntament amb la toponímia principal.

Realització de la sèrie

Tot el procés descrit fins ara serveix per a la realització de fulls aïllats, però la intenció de l'ICC és proveir d'aquesta mena de cartografia tot el territori de Catalunya. Tal com ha explicat ARBIOL (1986), la realització d'una sèrie comporta la superació de dificultats causades per problemes de mosaic, substitució de núvols, compensació dels canvis de radiometria i problemes de *stripping* en les imatges originals, que s'obvien en la realització d'imatges de prova.

La sèrie de 86 fulls tindrà una certa unitat en les tonalitats, però cada full s'expandirà radiomètricament al màxim, a fi d'augmentar la seva interpretabilitat visual. L'edició de la sèrie requereix, amb l'equip actual, com a mínim un any i mig per a la seva execució.

Data de recepció de l'original: 01.90

Romà Arbiol i Bertran

Cap de la Secció de Teledetecció i Tractament
Digital d'Imatges

Vicenç Palà i Comellas

Cap del Negociat de Teledetecció i Procés d'Imatges

Joan Romeu i Ripoll

Cap del Negociat de Cartografia Satèl·lit

Institut Cartogràfic de Catalunya

BIBLIOGRAFIA

- ARBIOL, R.; ROMEU, J. i VIÑAS, O.: "Mapa falso color de Catalunya a escala 1:100 000 a partir de imatges del sensor TM del satèl·lit Landsat-5". Comunicació a la *I Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*. Pàgs. 9-29. Barcelona, 1986.
- BAUDOIN, A.: "Premier bilan des traitements et de l'utilisation des images SPOT par l'Institut Géographique National". Comunicació a *SPOT 1, Premiers Résultats en Vol*. Pàgs. 41-47. Toulouse, 1986.
- CLICHE, C.; BONN, F. i TEILLET, P.: "Integration of the SPOT Panchromatic Channel into Its Multispectral Mode for Image Sharpness Enhancement". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, volum 51, núm. 3, pàgs. 311-316. Falls Church (Virginia), 1985.
- CHAVEZ, P.S.: "Digital Merging of Landsat TM and Digitized NHAP Data for 1:24 000-Scale Image Mapping". *Photogrammetric Engi-*

- neering and Remote Sensing*, volum 52, núm. 10, pàgs. 1637-1646. Falls Church (Virginia), 1986.
- FOLEY, J.D. i VAN DAM, A.: "Fundamentals of Interactive Computer Graphics". Ed. Addison-Wesley. Reading (Massachusetts), 1982.
- GUGAN, D.J.: "Practical Aspects of Topographic Mapping from SPOT Imagery". *Photogrammetric Record*, volum 12, núm. 69, pàgs. 349-355. Londres, 1987.
- MIKHAIL, E.M.: "Observations and Least Squares". *IEP*. Nova York, 1976.
- SALAMONOWICZ, P.H.: "Satellite Orientation and Position for Geometric Correction of Scanner Imagery". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, volum 52, núm. 4, pàgs. 491-499. Falls Church (Virginia), 1986.
- WIESEL, I.: "Digital Image Processing for Orthophoto Generation". *Photogrammetria*, volum 40, pàgs. 69-76. Amsterdam, 1985.

INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA

UNA INSTITUCIÓ JOVE AL SERVEI D'UNA LLARGA TRADICIÓ



Fotogrametria assistida

La restitució fotogramètrica és mecanitzada de manera integral; inicia així la mecanització de la delineació.



Edició digital

L'edició digital s'efectua a través del sistema gràfic que ajuda a dibuixar els mapes i la seva simbologia; també s'utilitza per dissenyar i controlar els vols fotogramètrics, etc.

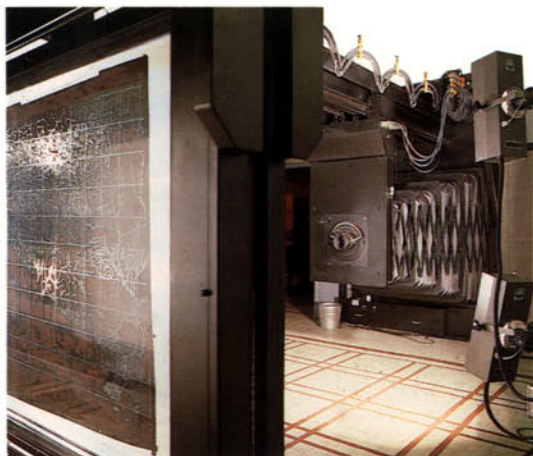
Teledetecció

Les imatges emeses des de satèl·lit són rebudes per un sistema de procés d'imatges digitals en color que permet d'una forma directa diferents tractaments de les mateixes.



Centre de càlcul

El Centre de càlcul, proveït de dos ordinadors (un IBM-4381/2 (D.P.T.O.P.) i un VAX-11/780) i d'un sistema de procés d'imatge, constitueix la infraestructura que permet el tractament de totes les dades necessàries per a l'elaboració de la cartografia.



Laboratori

El Laboratori fotogràfic, compost de les més modernes processadores i cambres de precisió, permet la màxima exactitud en la reproducció foto-cartogràfica.



- Mapes topogràfics
- Mapes temàtics
- Mapes de carreteres
- Mapes i guies turístiques

- Mapes i guies excursionistes
- Plans de ciutats
- Ortofotomapes
- Fotografia aèria
- Llibres de contingut

- Atlas
- Publicacions de la Generalitat
- Diverses publicacions oficials de l'estat



Generalitat de Catalunya
Departament de Política Territorial
i Obres Públiques
Institut Cartogràfic de Catalunya

Balmes. 209-211 - Telèfon (93) 218 87 58