

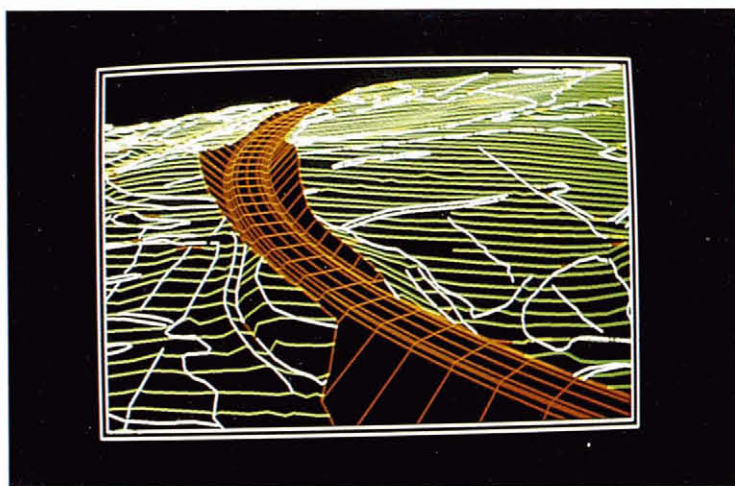
Cartografia digital tridimensional com a base de dades per a disseny assistit a l'enginyeria civil.

Un nou mètode de restitució cartogràfica.

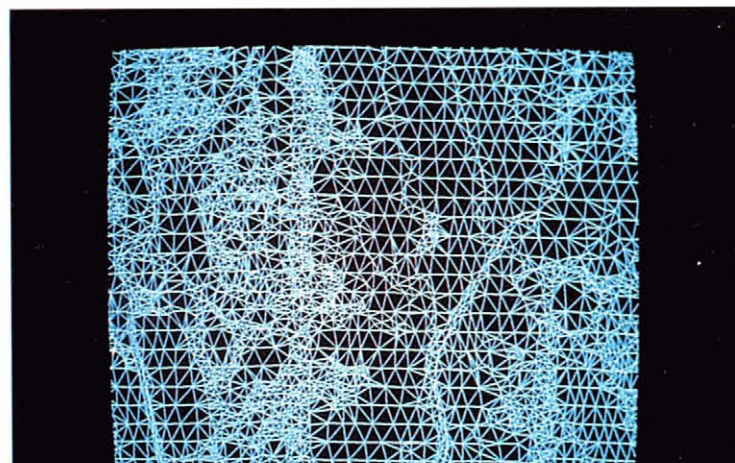
Jordi Sendra

ENGINYER DE CAMINS, CANALS I PORTS
CAP DE SECCIÓ DE GEODÈSIA.

A partir de la normalització de la producció de cartografia, mitjançant fotogrametria assistida per sistema gràfic digital, s'ha desenvolupat un projecte dividit en dues línies de treball paral·leles a l'Institut Cartogràfic de Catalunya: d'una banda, l'establiment d'un mètode de restitució tridimensional sobre la base del model digital del terreny, i, d'altra banda, l'elecció i la instal·lació d'un paquet de disseny de carreteres i obra civil al Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. L'objectiu final del projecte és aconseguir un sistema integrat de disseny assistit, que compregui des del recull de les dades fins a la realització dels plànols del projecte. El nou mètode de restitució ja és en plena producció a l'Institut Cartogràfic, i també han instal·lat el sistema de disseny escollit. Actualment, procedeixen a generalitzar-ne l'ús dins la Direcció General de Carreteres, com a primer pas. Posteriorment, és previst d'estendre l'accés al sistema per a tot el Departament de Política Territorial i Obres Públiques.



Exemple de perspectiva obtinguda amb el sistema MOSS a partir d'un projecte de traçat.



L'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) va ser creat l'any 1982, a partir dels serveis de cartografia de la Diputació de Barcelona i de la Direcció General de Carreteres, com a entitat adscrita al Departament de Política Territorial i Obres Públiques (DPTOP) de la Generalitat de Catalunya.

Els aparells restituïdors de què disposaven aquests serveis cartogràfics, eren models analògics de la firma Wild (A7, A8 i B8S). Tot iniciant la producció cartogràfica en la forma clàssica, l'ICC va iniciar la mecanització completa dels aparells restituïdors. Cadascun dels aparells fou connectat en una estació de treball Intergraph, de manera que la producció cartogràfica, llavors a base de minuts dibuixades a llapis i posteriorment del·lineades a mà, va passar a ser de tipus digital, basada en el sistema gràfic Intergraph.

El fet de treballar amb un sistema gràfic va obligar a fer de nou una estandardització de les simbologies a utilitzar per a les diferents escales de restitució. De la mateixa manera, es van definir les estructures i l'organització de les bases de dades gràfiques generades, segons les escales de sortida. És a partir d'aquesta normalització de la producció cartogràfica digital quan es plan-

Xarxa irregular de triangles obtinguda a partir d'un Model Digital del Terreny restituït segons el mètode desenvolupat.

teja la possibilitat i la necessitat d'emprar-la com a base de dades per a disseny assistit.

Els tipus de cartografia de línia que produeixen a l'ICC són la urbana, la vial i la territorial. D'aquestes cartografies, la més indicada com a base de dades per a disseny assistit és la cartografia vial. L'escala de sortida normal és d'1:1.000, i es tracta de cartografia realitzada per encàrrec per a la realització de projectes de carreteres o d'altres obres vials.

Disseny assistit per a enginyeria civil.

Cartografia tridimensional

La possibilitat d'utilitzar la cartografia vial com a eina de disseny, juntament amb el fet de la inexistència d'un sistema integrat de disseny dins el DPTOP, va fer que es desenvolupés a l'ICC un projecte de disseny assistit per a enginyeria civil, basat en la cartografia digital produïda.

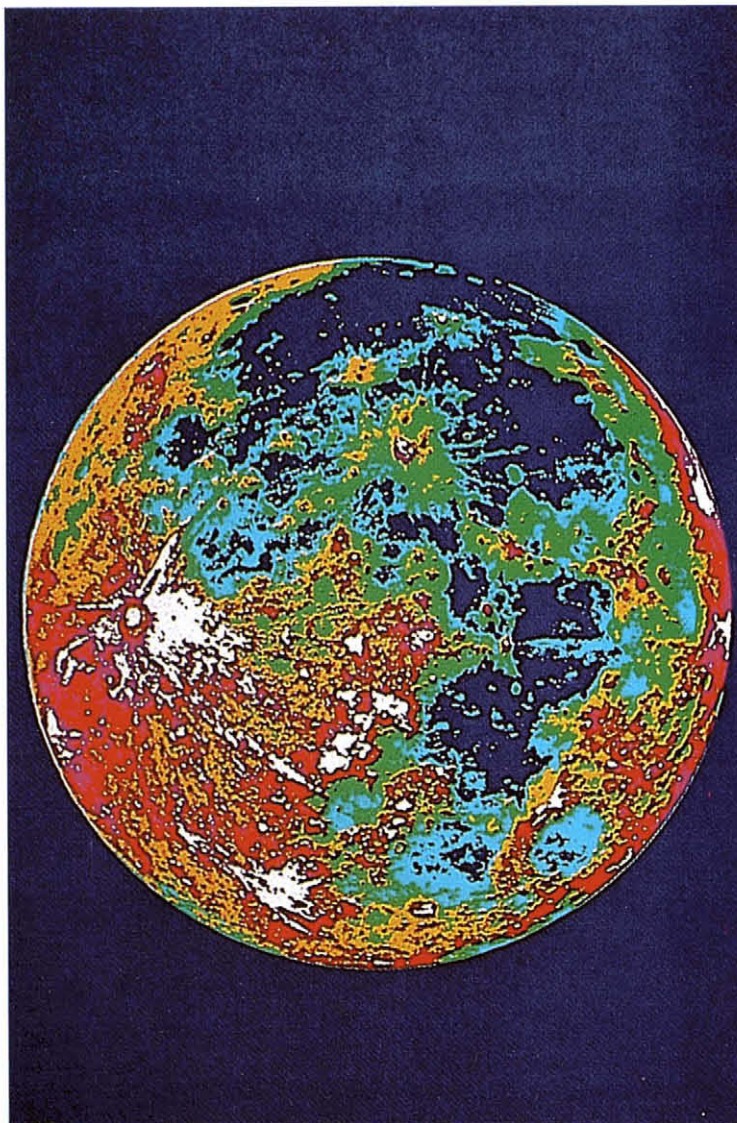
Aquest projecte conté dues línies d'actuació paral·leles:

Per una banda, desenvolupa un nou sistema de restitució que té com a objectiu la creació de cartografia tridimensional basada en el model digital del terreny (MDT).

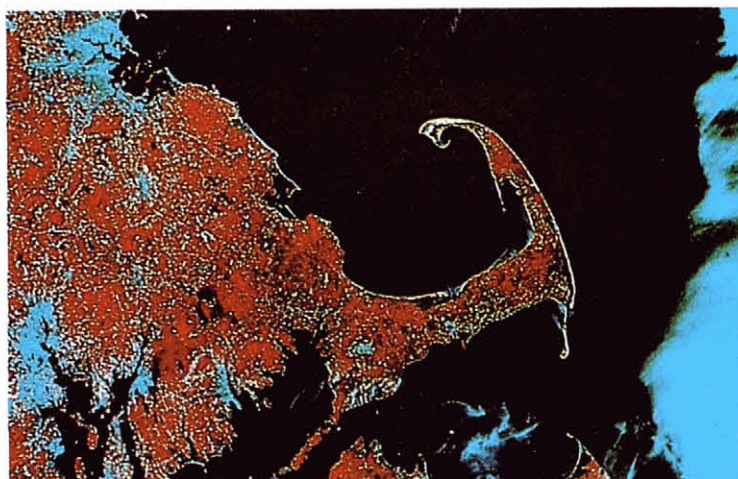
Per una altra, analitza els diferents sistemes de software de disseny de carreteres i obra pública més usats internacionalment, amb la finalitat d'eleger el més potent, tenint en compte la utilització de la cartografia digital com a base de dades. Posteriorment a l'avaluació, els resultats s'integren definitivament dins el DPTOP.

La cartografia produïda fins al moment de començar el projecte, si bé era digital, es podia reflectir completament en un full de paper perquè era de tipus bidimensional. Els conceptes bàsics de la nova cartografia tridimensional (3D) es defineixen clarament davant dels de la cartografia estàndard (2D).

Si bé es conserven, tant la simbologia dels diferents tipus d'elements integrants del mapa, com la



La tecnologia de digitalització del disseny cartogràfic revoluciona la comprensió de la realitat geogràfica i en permet noves plasmacions cromàtiques i formals.



seva organització dins la base de dades gràfica, els conceptes referents als elements planimètrics varien, però únicament en el fet que tots els punts que els formen, registren la (x,y,z) enlloc de les úniques (x,y) dels mapes 2D. Això és necessari per tal de permetre fer visualitzacions en forma de perspectives de tots els elements del mapa. Les cotes altimètriques distribuïdes dins el mapa són elements gràfics amb posició (x,y,z) coneguda.

Pel que fa a l'altimetria del mapa, si bé es representa finalment en forma de corbes de nivell, és capturada en forma d'MDT.

Aquests nous conceptes tenen repercussions directes sobre el sistema productiu. En primer lloc, és necessària una completa reprogramació del «menú» de restitució de la cartografia vial, entenent per «menú» el conjunt de programes que utilitza l'operador de restitució per capturar la informació i organitzar-la segons tipologies. Per una altra banda, el mètode clàssic de restitució directa de les corbes de nivell, queda totalment fora d'ús i és necessari d'establir una nova metodologia per a la captura del model digital del terreny. Aquesta nova metodologia obliga a realitzar un entrenament dels operadors de restitució, prèviament a la posada en producció del nou mètode.

La captura de dades de l'MDT es realitza restituint dos tipus diferents de línia. Per una banda, es fa una escombrada sistemàtica de tot el model estereoscòpic en forma de perfils paral·lels sobre el terreny. La separació entre els punts capturats al llarg de cada perfil depèn de la morfologia del terreny i és totalment irregular. L'operador escull cadascun dels punts segons el criteri que ha assimilat durant la fase d'entrenament. La separació entre perfils és constant, però a les zones on el terreny és més abrupte, es restitueixen perfils intercalats.

Morfologia zonal. Procés de triangulació i reproducció del terreny

Per una altra banda, es restitueixen unes línies anomenades línies de

trencament (*break lines*) que representen els accidents més característics del terreny, definint la morfologia de la zona i tenint en compte l'escala de sortida. Aquestes línies són totalment tridimensionals i és necessari que tots els segments que uneixin dos punts consecutius d'una *break-line* estiguin situats sobre el terreny. Els elements del terreny normalment restituits com a *break-lines* són els límits de marges entre parcel·les, torrenteres, crestes o tàlvegs, barrancs abruptes, límits de terraplè o desmunt, talls del terreny, etc, sempre segons el criteri prèviament format de l'operador.

Per assegurar una màxima precisió de l'MDT resultant, tots els punts són capturats d'un a un, quan l'operador decideix que la situació i la cota són correctes. Els perfils del terreny constitueixen una xarxa bàsica del terreny de tipus irregular. A partir d'aquest núvol de punts, el software de procés genera una triangulació, a més d'utilitzar les *break-lines*. A més a més, i per tal que la qualitat de la informació que contenen les *break-lines* no es perdi, el procés de triangulació genera els triangles, de forma que cada segment de *break-line* s'incorpora com a costat de triangle de la xarxa final.

La qualitat del model digital obtingut va ser comprovada principalment al mateix temps que es desenvolupava aquest mètode de restitució. Van realitzar diferents proves sobre la zona de terreny a restituir per al projecte de la carretera de Vilafranca del Penedès a Igualada el 1984, i van estudiar tant els resultats obtinguts per a diferents separacions entre perfils, com entre els punts de cada perfil, de cap a cap i quins eren els tipus de línies de trencament (*break line*) del terreny que calia restituir.

Totes aquestes proves van ser comparades de manera diferent amb models patró realitzats amb un restituïdor analític Aviolyt Ac-1 de Wild. Una primera comparació de tipus qualitatiu va consistir a superposar les corbes de nivell generades per software amb corbes de nivell restituides directament se-

gons el mètode clàssic. Aquest tipus de comparació és de molta utilitat, ja que avalua directament la qualitat del model digital, segons una de les principals aplicacions que té. També van fer una comparació numèrica entre dues xarxes regulars de punts, generades a partir de les corbes de nivell patró i del model digital a comprovar. La zona va ser escollida d'acord amb la bona visibilitat i representativitat del terreny. La desviació estàndard per a un total de 1.043 punts de l'MDT fou d'11 cm. Finalment, amb el restituïdor patró es va realitzar una darrera comprovació de la qualitat de les corbes generades a partir de l'MDT sobre punts escollits aleatòriament.

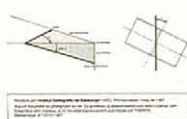
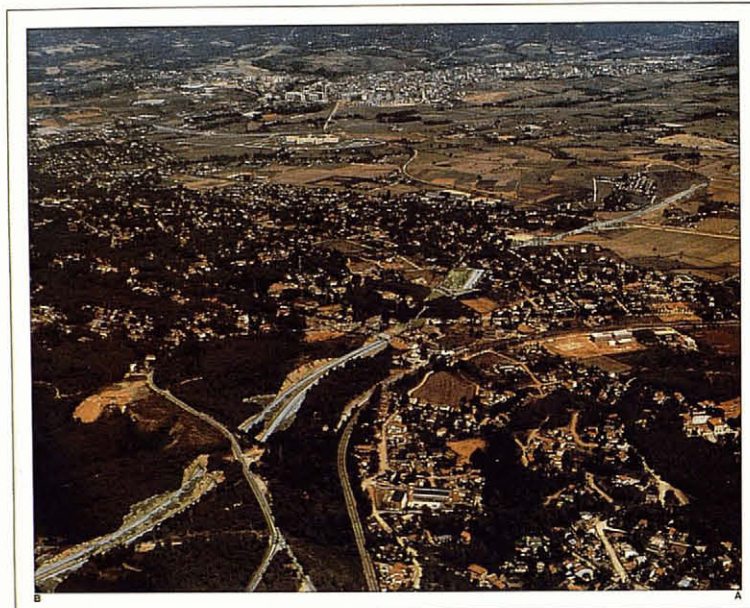
Així doncs, s'ha arribat a la definició de la xarxa a utilitzar per a restituir MDT-s, si més no sobre la base de paràmetres molt concrets, partint d'uns criteris que cal traspasar a l'operador mitjançant un entrenament. L'experiència de l'operador és un factor important per a una correcta assimilació d'aquests conceptes i criteris que defineixen el nou mètode de restitució. Aquest estudi va tenir lloc durant el segon semestre de l'any 1984.

Les conclusions respecte a la qualitat de l'MDT restituït són molt positives i permeten d'assegurar que representa el terreny de forma més acurada i completa que no pas les corbes de nivell restituides directament.

Aquest fet es recolza en el tipus de xarxa emprada, que combina un nivell uniforme de qualitat amb una distribució irregular i mínima de la informació. Alhora, cal esmentar que a l'ICC, treballen sempre amb suport de camp provinent d'aerotriangulacions. Les realitzen al mateix ICC, amb la utilització d'un Aviolyt AC-1 o BC-1 de Wild. La precisió obtinguda normalment per a una escala 1:1.000 és de 10 cm de sigma naught. Això permet de treballar sempre amb bones orientacions dels models estereoscòpics, la qual cosa assegura la precisió obtinguda en els punts capturats de l'MDT.



Fotografia 5



Fotografia 5



de la segona part del projecte tal com esmentàvem al començament.

Elecció del Sistema de Disseny Assistit: condicions exigides

Paral·lelament al desenvolupament de la cartografia tridimensional s'ha fet un recull extensiu d'informació referida a la majoria dels principals paquets de software de disseny assistit. Per a l'obtenció d'aquesta informació s'han mantingut contactes amb més de quatre institucions, públiques o privades, d'arreu del món. Això ens ha permès disposar de les característiques generals i del manual d'usuari que servís a la majoria dels sistemes.

Els paquets que han estat analitzats són els següents: MOSS (MOSS Consortium, Anglaterra), EPOS-I (HeuschBoesefeldt, RFA), DTMW (Intergraph CO, USA), COGO i ROADS (ICES), CARTA-TERRA-QUANTA (Idan Computers, Israel), SITO (Finish Consulting Engineers), SMS (Axis Consultants, Anglaterra), LINPRO (Chemins de Fer Fédéraux

Suïsses), RDS i IGRDS (Federal Highway Administration, USA) i Programes de Càlculo Mecanizado (MOPU, Espanya).

A més a més, es van analitzar les Tesis Doctorals «Computer Aided Design» (Vincent Calogero, Londres), «Smooth Alignment of Roads» (Arne Broman, Göteborg) i «The generation and utilization of computer-animated pictures in road designing» (Lars Erik Nilsson, Goeteborg), com també publicacions diverses.

Les condicions exigides al sistema de disseny van ser les següents:

- Permetre el tractament de la cartografia tridimensional generada a l'ICC com a base de dades de disseny i, a la vegada, oferir la possibilitat de completar-la amb dades fornides del camp, mitjançant topografia.
- Disposar d'opcions de modelat de superfícies basades en models digitals com ara generació de triangulacions, corbes de nivell, seccions, perfils, càlculs volumètrics, etc. Això s'havia de

poder combinar amb opcions de disseny no restringides a obres de tipus lineal, de forma que fos possible de realitzar estudis que comprenguessin grans moviments de terres de tipus superficial.

- Disposar d'opcions de càlculs de traçats de carreteres basades en la utilització d'elements fixos, flotants o lliures, o d'*splines* cúbiques.
- Disposar d'opcions de visualització del projecte integrat dins la superfície modificada del terreny, com ara perspectives definides per l'usuari.
- Disposar de capacitats gràfiques interactives que permetessin de realitzar edicions digitals i generar així plànols definitius sense necessitat de delineació manual posterior. El software havia de ser prou flexible per a poder generar les sortides gràfiques segons els formats utilitzats normalment al DPTOP.

Finalment, que poguessin ésser instal·lats a l'ordinador IBM 4381/2

del DPTOP, com també que permetessin la configuració d'estacions de treball de tipus remot amb intel·ligència local.

De tots els sistemes que van ser analitzats, el que compleix millor amb les condicions establertes és el sistema MOSS, generat i comercialitzat per MOSS Systems Ltd (Horsham, West Sussex, Anglaterra). És un sistema de modelat de superfícies, totalment tridimensional i que disposa d'un conjunt complet d'opcions per al disseny de vialitats. Cal destacar que, en l'aspecte de disseny, aquest sistema difereix conceptualment de tots els altres analitzats, ja que es fonamenta en la idea de l'*string* (poligonal formada per punts units per segments). Tant pel que fa a l'eix del traçat, com a la plataforma de la carretera, els defineix a partir de *strings* i abandona el concepte de secció transversal estesa al llarg de l'eix. Les facilitats de generació de la plataforma a partir de l'eix definit analíticament són molt completes. Quant a facilitats de visualització, possibilita la generació de fotomuntatges del projecte sobre el terreny existent. Aquesta facilitat és molt apreciable pel que fa a la presentació pública de projectes importants que puguin tenir un fort impacte sobre l'entorn.

El procés de recollida de la informació, l'anàlisi d'aquesta i, finalment, l'elecció del sistema MOSS es va dur a terme durant tot l'any 1984.

Avaluació del sistema escollit

Al llarg de la primera meitat de l'any 1985 es va concretar, després de diferents contactes directes amb MOSS Systems, un calendari per a la instal·lació del sistema a l'IBM del DPTOP, i un període posterior d'avaluació del sistema. També es va definir l'estació tipus de treball.

La configuració de l'estació de treball per al MOSS té com a unitat central un ordinador personal IBM 3270 PC/GX connectable a l'ordinador central a través d'una unitat de control IBM 3274. Aquest tipus de terminal té un monitor gràfic d'alta resolució en colors, i permet la connexió via RS-232-c

dels perifèrics. Atès que els llocs de disseny seran situats en edificis independents del centre de càlcul de l'ICC, les estacions de treball han de ser independents i permetre la generació, tant de sortida de llistats, com de plànols. Per tant, està previst de connectar a les terminals PC/GX una impressora IBM 5152 i també un plotter de rolegu Calcomp 1043-HS. Aquestes estacions es poden complementar amb terminals alfanumèrics més econòmics per permetre l'accés al sistema de més operadors en una mateixa secció de disseny.

A l'ICC es va instal·lar una estació de treball completa per tal de realitzar l'avaluació del sistema. Aquesta ha estat realitzada al llarg del primer trimestre de 1986. Per dur-la a terme han escollit un projecte pilot, ja restituit amb cartografia tridimensional. El projecte concret triat ha estat la variant de Navàs, a la carretera comarcal C-1411. Les conclusions extretes amb el disseny d'aquest projecte, juntament amb la resta de proves fetes, són netament positives.

Així, doncs, és adoptada la decisió d'adquirir el software de disseny MOSS, i d'iniciar la implementació en producció dins el DPTOP.

Procés d'implementació productiva dins el DPTOP

Donada l'amplitud del DPTOP, el procés ha estat dividit en diferents fases. Ja que el sistema MOSS conté una part molt important dedicada al disseny de carreteres i d'autopistes, la Direcció General de Carreteres és la més indicada per a començar a utilitzar el software. S'han iniciat una sèrie de cursos per als nous usuaris que comprèn una o dues seccions de disseny per cursat. Al mateix temps, les seccions de disseny són dotades d'estacions de treball, gradualment.

Paral·lelament a aquestes tasques, es desenvolupa una sèrie d'aplicacions informàtiques per tal de complementar el sistema, entre les quals destaca la interfase realitzada per a introduir de forma automàtica la cartografia digital produïda en el sistema Intergraph

de l'ICC. Ha estat necessari, en primer lloc, de transferir la informació al sistema IBM i, posteriorment, d'adequar les dades per a l'entrada a la base de dades MOSS. Aquesta doble transferència s'ha fet mantenint la informació referent al tipus d'element planimètric o altimètric, per tal que la seva representació gràfica sobre el plànol definitiu del projecte sigui la mateixa del sistema Intergraph. Actualment, hi ha en preparació els grups de comandes del sistema MOSS que permetran aquesta conservació de simbologia, com també una altra aplicació que genera de forma automàtica les comandes per a la generació de les plantes i els perfils longitudinals definitius de projecte, segons les especificacions i els formats normalment emprats per la Direcció General de Carreteres. En un futur proper hi ha prevista la programació d'unes altres aplicacions que facilitin l'entrada de certs tipus de dades força rutinàries.

Un cop finalitzat el procés d'iniciació dins la Direcció General de Carreteres, o bé un cop es trobi més avançada, es començarà a estendre l'ús del sistema a la resta de les Direccions Generals. El sistema MOSS té possibilitats d'aplicacions a més del disseny de carreteres, al disseny de línies de ferrocarril, canals a cel obert, preses, modelat de superfícies per a reordenacions del territori, abocadors d'escombreries, aeroports, mineria, etc.

Tot i que el projecte no s'ha desenvolupat completament, podem afirmar que és en procés d'assolir els objectius fixats en el seu inici. El mètode establert per a la producció de cartografia tridimensional ja ha estat assentat plenament dins l'ICC i actualment tota la producció de cartografia a les escales 1:1.000 i 1:5.000 es fa segons el nou sistema. Pel que fa al sistema de disseny assistit MOSS, tot i que la seva utilització encara no s'ha generalitzat dins el DPTOP, ofereix uns resultats molt positius. Així, podem parlar d'una sèrie de fotomuntatges realitzats a l'ICC sobre l'«Avantprojecte de Concessió del Túnel de Vallvidrera i Accessos», com a exemple més rellevant.

J.S. □